

République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen
Faculté des Sciences
Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Option

Modèle Intelligence et de Décision (M.I.D)

Thème

**Décomposition (Segmentation) d'un objet en 3D composé
de mailles triangulaires.**

Réalisé par :

*M^{lle} Kambouche Fatima Zohra

*M^{lle} Bengoudifa Amel

Présenté le 28 Juin 2016 devant le jury composé de :

- Mr Benamar Abdelkrim (Président)
- Mr Benziane Yaghmorasan (Encadreur)
- Mr Benazzouz Mortada (Examineur)
- Mr A.Belabed (Examineur)

Remerciements

*N*ous tenons à présenter nos sincères remerciements à
notre

Encadreur Monsieur « Benziane Yaghmoracen », pour

L'orientation, les conseils et les suggestions.

*O*n désire aussi remercier tous les enseignants de la
filière informatique, qui nous a fourni les outils
nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

*Q*ue soient, enfin à remercier sincèrement les membres
du jury qui nous font le grand honneur d'évaluer ce
travail.

Dédicaces

Je remercie tout d'abord le Dieu tout puissant de m'avoir
Armé de force et de courage pour mener à terme ce projet.

Je dédie ce mémoire de fin d'études.

A

Mes parents pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leur sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inclure et tous les efforts qu'ils ont fait pour mon éducation ainsi que ma formation.

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le manque de ma grande mère Chérifa « Dieu ait pitié »

Sans oublier mon cher frère « Amine » et ma petite sœur « Meriem » pour leur l'amour et l'affection que je porte pour vous.

A

Mon fiancé Mr « Bendahmane Ahmed »

Sans ton aide, tes conseils et tes encouragements ce travail n'aurait vu le jour Quand je t'ai connu, Ma vie à tes cotés est remplie de belles surprises. Tes sacrifices, ton soutien moral et matériel, ta gentillesse sans égal, ton profond attachement m'ont permis de réussir mes études.

Enfin à toute ma famille ainsi qu'à tous mes amis et camarades.

Kambouche Fatima Zohra

Dédicaces

*Je remercie tout d'abord le Dieu tout puissant de m'avoir
Armé de force et de courage pour mener à terme ce projet.*

*Je dédie ce modeste travail à mes parents qui ont veillé les nuit
pour*

*L'arrivée à ce niveau, à mes grands parents et à toute ma
famille.*

*Sans oublier mes frères « Mohamed » et « Bilel » et a ma petite
sœur « Ikram »*

Aussi à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin

A tous ceux qui ont une place à mon cœur

Bengoudifa Amel

Table des matières

Introduction générale.....	5
Chapitre 1 :Modélisation d'objets 3D.....	5
I. Introduction.....	6
II. Différents modes de modélisation géométrique.....	6
II.1. La modélisation filaire.....	6
II.1.2 modèles à partir de surface frontières (Brep)	8
II.2. Les modélisations surfaciques	9
II.2.1. Courbe de Béziérs.....	10
II.2.2 Courbes et surfaces B-splines	11
II.2.3. Courbe et surfaces NURBS	12
II.3. Les modélisations volumique	13
II.3.1. Enumération de l'occupation spatiale	13
II.3.2.Représentation par volumes élémentaires	15
II.3.3.Géométrie Solide Constructive (CSG).....	15
II.3.4.Représentation par balayage	17
III. conclusion.....	18
Chapitre 2 :Maillage Triangulaire	20
I. Introduction	21
II. Utilisation d'un maillage triangulaire	21
III. Définition et caractérisation d'un maillage triangulaire	21
III.1 Méthodes de génération des maillages de surfaces 3D.....	22
III.1.2. Approche basées sur le diagramme de Voronoi	23
III.2. Adaptation de maillages	24
III.2.1. Raffinement.....	24
III.2.2. Déplacements de nœuds	25

III.2.3. Simplification de maillage	25
IV. Format d'objets 3D	25
IV.1. Les Différents formats des objets 3D	25
IV.1.1. DXF (Drawing eXchange Format)	25
IV.1.2. Le Virtual Reality Modeling Language (VRML)	26
IV.1.3. 3D Studio Max (ou 3ds max)	27
IV.1.4. OBJ	27
IV.1.5. Blender(ou Blender3D)	28
IV.1.6. VTK (The Visualisation Toolkit)	28
V. Conclusion	29
Chapitre 3 :Segmentation d'objets 3D.....	30
I. Introduction	31
II. Définition de la segmentation	31
III. Méthodes de segmentation	32
III.1 Segmentation de maillages triangulaires et rectification directionnelle de frontières basées sur les tenseurs de courbure.....	32
III.1.1 Algorithme générale	32
III.2 Croissance de régions: (seeds en anglais)	34
III.3 Ligne de Partage des Eaux (LPE) (watershed en anglais)	35
III.3.1 Adaptation à la 3D.....	36
III.3.2 Sur-segmentation.....	37
III.3.3 Critère de courbure	38
III.3.4. Génération des marqueurs	39
III.4 Système Multi-Agents	43
IV. Conclusion	44

Chapitre 4 :Implémentation	45
I. Introduction	46
II. Choix techniques	46
II.1 Le langage de programmation.....	46
II.2. Présentation de l'environnement JAVA.....	46
II.3. Présentation de VTK, bibliothèque de visualisation graphique	47
II.4 Organigramme de la méthode de l'implémentation.....	48
III. Fonctionnement du logiciel	48
III.1. Présentation.....	49
IV. Conclusion	51
Conclusion générale	52
Références bibliographique	53

Liste des figures

Figure I.1: Représentation fil de fer d'un même objet en plusieurs interprétations...	7
Figure I.2: Ambiguïté de modèle en fil de fer	7
Figure I.3: le modèle Brep.....	8
Figure I.4: modélisation surfacique avec plusieurs points	9
Figure I.5: modélisation surfacique avec peu de points.....	9
Figure I.6: Courbe de Bézier avec les points de contrôles p1 au p4.....	10
Figure I.7: Courbe B-splin cubique	11
Figure I.8: surface B-splin cubique	12
Figure I.9: Exemple de modélisation par énumération spatiale et arbre octal.....	14
Figure I.10: Exemple de construction d'un objet et de son arbre CSG associe.....	16
Figure II.1: Diagramme de Voronoi et sa triangulation de Delaunay	23
Figure II.2: Exemple d'image 3D en format VRML.....	25
Figure II.3: Exemple d'image 3D en format VTK	28
Figure III.1: Les deux étapes de l'algorithme: la segmentation et la rectification....	32
Figure III.2 : Un sommet et les triangles entourant ce dernier.....	32
Figure III.3: Etapes d'une segmentation du système Shuffler	34
Figure III.4: Exemple de segmentation par LPE d'une image 2D.....	35
Figure III.5 : Stratégies de l'approche de la ligne de partage des eaux	35
Figure III.6: propose étapes des segmentations avec des niveaux de fusions différents.....	36
Figure III.7 : Marqueurs et résultat de la LPE.....	37
Figure III.8 : Structure de stockage (matrice de stockage) des voxels.....	38
Figure III.9 : la représentation de la voxelisation.....	39
Figure III.10 : Construction de courbe squelette par contraction de maillage, figure extraite de [ATC+08].....	40
Figure III.11 : La création du marquage.....	41
Figure III.12 : Les différents étapes du LPE.....	41

Figure IV.1 : Organigramme de la méthode implémentée.....	47
Figure IV.2 : Accueil de l'application.....	48
Figure IV.3 Image 3D.vtk.....	49
Figure IV.4 : Filtre triangulaire en image 3D.	50
Figure IV.5 : Croissance des régions avec courbure Gaussienne.....	50
Figure IV.6 : Croissance des régions avec courbure Moyenne.....	51

Introduction Générale

Introduction générale

Les domaines d'application de la vision par ordinateur sont divers : reconnaissance de formes, robotique mobile, imagerie médicale, réalité virtuelle, inspection d'objets industriels, poursuite d'objets en temps réel, etc... Toutes ces applications nécessitent à la fois une bonne représentation interne de la tâche à effectuer ainsi que des données à manipuler, d'où la nécessité de définir un modèle de référence. Ce modèle peut être : soit de type descriptif, dont les informations complètes permettent aussi bien d'effectuer l'inspection d'objets industriels que de générer des images de synthèse, soit de type discriminatoire, où les informations du modèle sont utilisées pour des applications de type Reconnaissance de Formes.

Nous allons nous intéresser maintenant aux modes de création des modèles 3D, ainsi qu'aux critères utilisés pour leur évaluation.

Chapitre 1 :

Modélisation d'objets 3D

I. Introduction

Les logiciels de DAO/CAO (dessin/conception assistés par ordinateur) sont des outils de plus en plus présents dans l'enseignement technique. Intégrés comme outils dans les référentiels d'enseignement, ils apparaissent aussi dans certains examens, C'est pour cette raison qu'il nous a paru nécessaire et important de préciser certaines notions les concernant.

Actuellement sont : **DAO**¹ pour les modèles bidimensionnels et **CAO**² pour les tridimensionnels. [1]

Nous limiterons cette étude aux modèles géométriques utilisés dans les logiciels de CAO, nous aborderons, ici, les différentes modélisations utilisées dans ce type de logiciel, l'objectif de ce chapitre est de faire un tour d'horizon des modèles 3D existants afin de sélectionner le mieux adapté pour la mise en correspondance. Dans un premier paragraphe nous donnerons quelques généralités sur la création et l'évaluation des modèles 3D. Nous introduirons ensuite les différents types de courbes et de surfaces utilisées pour la modélisation, puis nous présenterons les modèles géométriques les plus utilisés.

II. Différents modes de modélisation géométrique

La modélisation tridimensionnelle est l'étape en infographie tridimensionnelle qui consiste à créer, dans un logiciel de modélisation 3D, un objet en trois dimensions, par ajout, soustraction et modifications de ses constituants.

La modélisation 3D peut traiter par de nombreuses méthodes, chaque une d'entre elles étant bien adaptée à un domaine d'application bien précis.

Il existe trois types principaux de modélisation 3D : **filaire**, **surfactive** et **volumique**. Ces modélisations permettent une représentation « réelle » des objets. [2]

II.1. La modélisation filaire

Les autres appellations de cette modélisation sont treillis ou fil de fer.

¹ Dessin Assisté par Ordinateur, discipline permettant de produire des dessins techniques avec un logiciel informatique .

² CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

C'est le premier niveau de modélisation dans l'espace. Elle utilise les mêmes entités géométriques que le 2D, en y ajoutant la troisième dimension.

Elle est donc basée sur des points et des lignes. L'objet est décrit par ses sommets (points) et ses arêtes (lignes qui relient ces sommets).

Pour gérer la notion de pièce, on ne pourra utiliser que des points appartenant aux arêtes ; ce sont les seuls repérables.

La structure de données simple et compacte, visualisation très rapide. Permet à peu près d'avoir une représentation géométrique globale de l'objet.

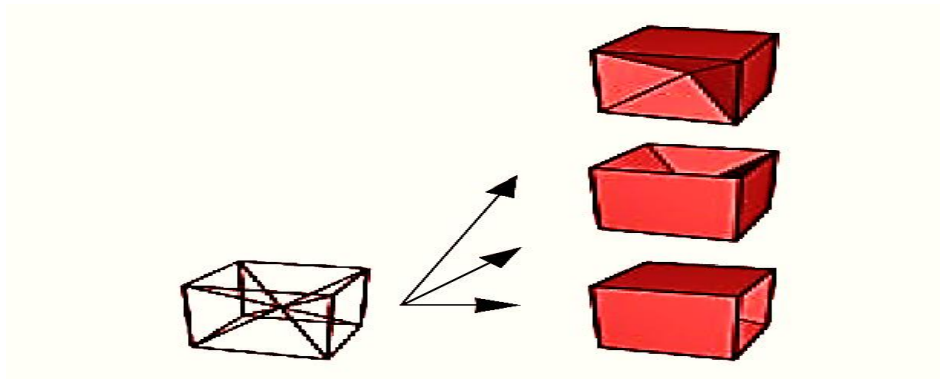


Figure I.1 : Représentation fil de fer d'un même objet en plusieurs interprétations.

Bien que toujours utilisé simples, il présente à des fins architecturales, pour des objets simple, il présente le problème poser des ambiguïtés en représentations 3D.

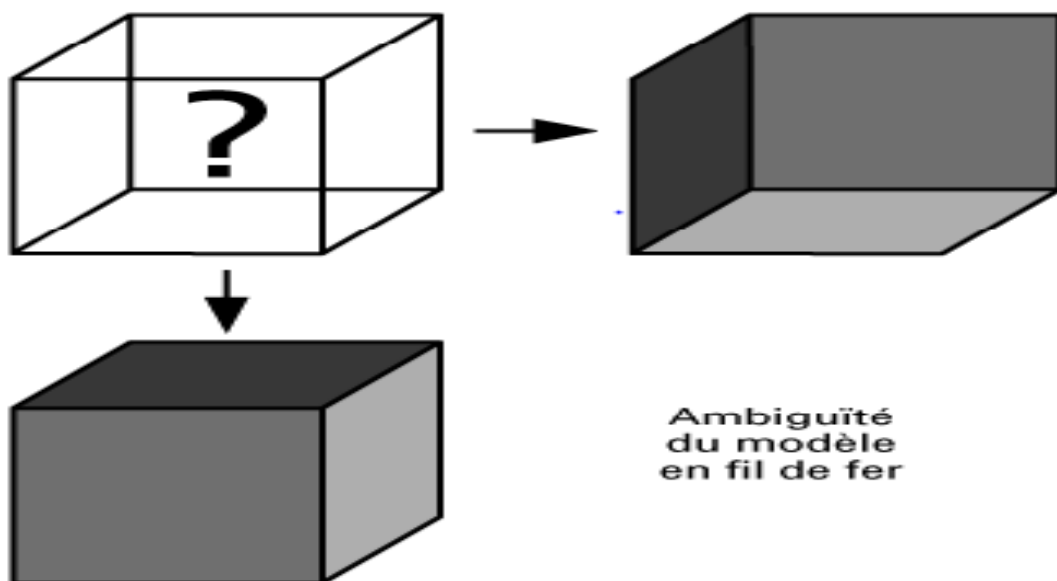


Figure I.2 : Ambiguïté de modèle en fil de fer.

II.1.2 modèles à partir de surface 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. En infographie³, la B-Rep (*Boundary Representation* en anglais ou *Représentation Frontière* ou *Représentation par les Bords* en français) est une technique de modélisation 3D géométrique des solides par les surfaces.

Cette méthode consiste à représenter la peau des objets géométriques en « cousant » des carreaux géométriques restreints, portés par des surfaces canoniques (en général des surfaces B-splines, des Bézier, des NURBS).

Les BRep décrivent les modèles en fonction des sommets, des arêtes et des surfaces. la conception du solide sans oublier une grande quantité d'information à stocker.

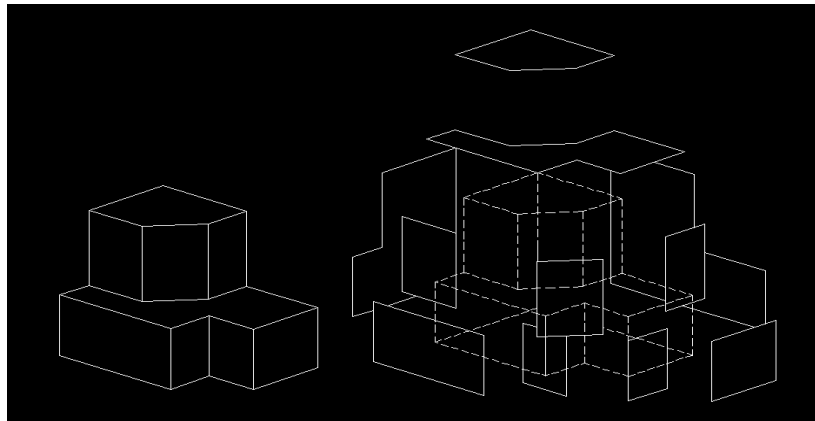


Figure I.3 le modèle Brep.

Parmi les avantages et les inconvénients de cette modélisation

◆ Avantages

Cette modélisation permet la représentation « réelle » d'un objet dans l'espace. Les erreurs d'interprétation sont diminuées (du fait des compléments d'informations apportés par la troisième dimension). Elle permet donc de traiter des géométries plus complexes que le 2D.

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

◆ Inconvénients

Cette modélisation ne comporte pas les notions de surface et de volume bien que la visualisation obtenue puisse en donner « l'idée ».

Il n'y a donc pas d'élimination automatique des arêtes cachées. Elle doit être faite manuellement par l'utilisateur.

Cela apporte aussi des ambiguïtés au niveau de la compréhension de la géométrie de la pièce.

II.2. Les modélisations surfaciques

Cette modélisation permet une définition précise de la surface de l'objet. Représentation par un ensemble de portion élémentaire de surface (carreau ou patch), définis par le type de la surface support et les équations quatre courbes frontières.

Parmi ses propriétés a un bon comportement aux dérivées premières (points de raccordement des carreaux), une modification aisée de l'ure des surfaces.

Chronologiquement, sont apparues les surfaces de BEZIER, B-SPLIN, NURBS. [3]

- Construction du modèle surfacique

Interpolation/ approximation de points

Beaucoup.

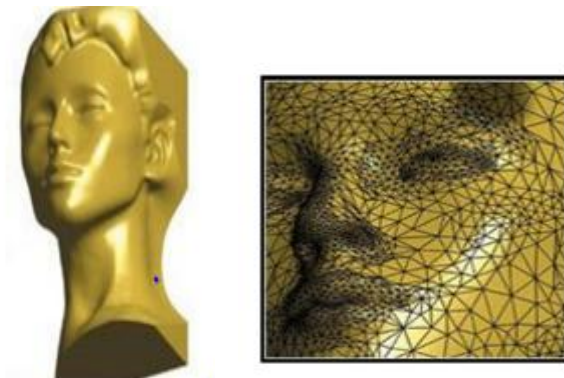


Figure I.4 : Modélisation surfacique avec plusieurs points.

Ou peu ;

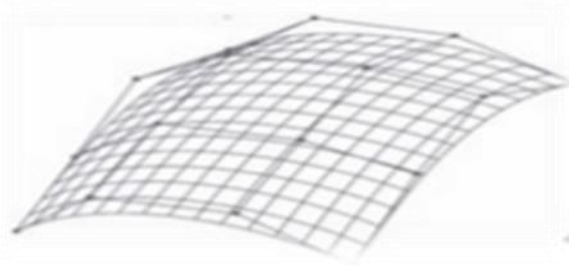


Figure I.5 modélisation surfacique avec peu de points.

II.2.1. Courbe de Béziérs

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.

- Représentation par polygone de contrôle
 n+1 points ordonnés P0.....Pn la courbe de Bézier est définie par :

$$B_{i,n}(t) = C_i^n t^i (1-t)^{n-i}$$

Les fonctions de bases $B_{i,n}(t)$ sont les polynômes de Bernstein, le degré dépend de points de contrôle.

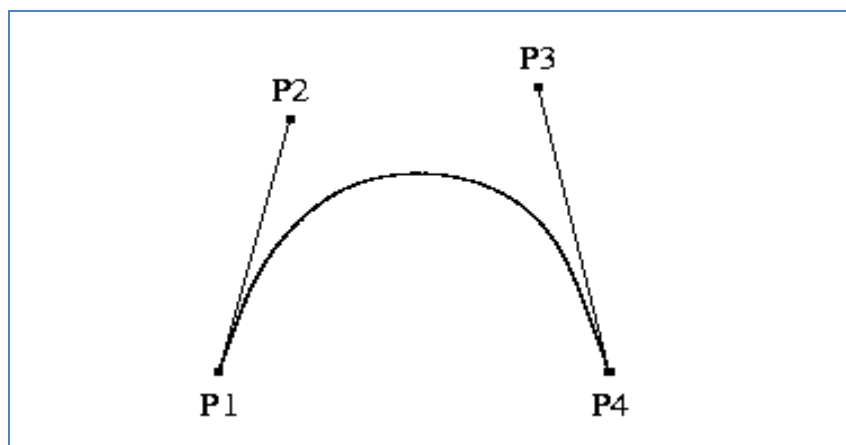


Figure I.6 : Courbe de Bézier avec les points de contrôles p1.....p4

II.2.2 Courbes et surfaces B-splines

En mathématiques, une B-spline (splines lattes de jardinier) est une combinaison linéaire de splines positives à support compact minimal. Les B-splines sont la généralisation des courbes de Bézier, elles peuvent être à leur tour généralisées par les NURBS. [4]

- **Courbe B-splines**

Une courbe splines est une fonction polynomiale par morceaux définie sur un intervalle $[a, b]$ divisé en sous intervalles.

Le degré de la spline est défini comme celui du polynôme P_i de plus haut degré. Si tous les polynômes ont le même degré, on dit que la spline est **uniforme**. Dans le cas contraire, elle est **non uniforme**.

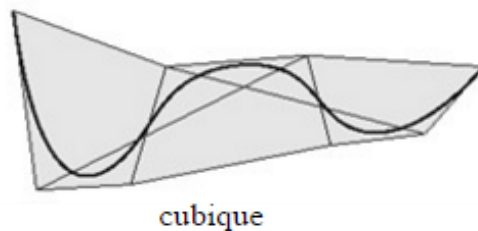


Figure I.7 Courbe B-splin cubique

- Approximation :
 - . on se donne N points ordonnés P_1, \dots, P_n
 - . on choisit un ordre K (*degré $K-1$*)
 - . et une subdivision $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_{N+k-1} \leq t_{N+k}$

L'approximation est définie par :

$$P(t) = \sum_{i=1}^{i=N} P_i N_{i,k}(t)$$

- **Surface B-splines**

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

Les propriétés des surfaces splines découlent des propriétés des courbe splines.

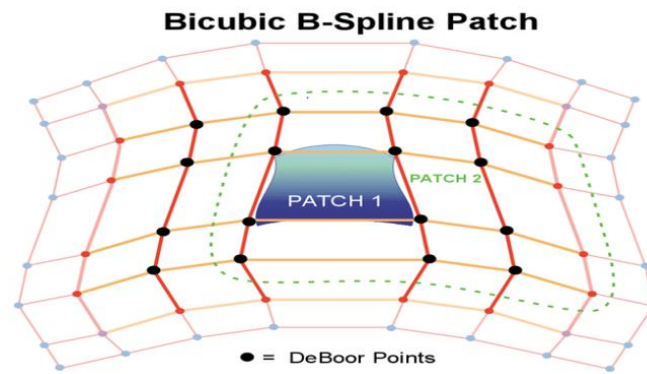


Figure I.8 : surface B-splin cubique

Parmi les avantages surfaces B-splines on cite :

- Control local la modification d'un point de contrôle ne change pas tout la courbe.
- $\langle k \rangle$ et $\langle l \rangle$ contrôlent l'ordre des B-spline, 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 $\langle k \rangle$ et $\langle l \rangle$. [5]

II.2.3. Courbe et surfaces NURBS

Les NURBS (Non Uniform Rational B-Splines) 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. Notamment utilisées dans les logiciels d'édition 3D, plus précisément dans la compression d'images et dans le design assisté par ordinateur, afin de générer et représenter des formes douces et ergonomiques.

Cette méthode A l'origine faites pour une représentation exacte des coniques, à chaque point de contrôle P_i on associe un point W_i .

La courbe NURBS est définie par :

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t=N} P_i \omega_i N_{i,k}(t)}{\sum_{i=0}^{t=N} \omega_i N_{i,k}(t)}$$

Parmi les avantages et les inconvénients de cette modélisation

◆ Avantages

Cette modélisation permet une définition précise de la surface de l'objet, ainsi que des intersections de surfaces. Elle procure une nette amélioration de la visualisation, principalement par la possibilité d'élimination automatique des arêtes cachées.

◆ Inconvénient

Cette modélisation n'est pas toujours bien adaptée à la conception d'éléments de machines.

II.3. Les modélisations volumique

C'est la modélisation la plus complète car elle englobe les deux précédentes, Elle permet la représentation dans l'espace, avec la notion de matière.

Pour créer un objet, le 3D volumique il faut utilise des primitives volumiques, les assemble par des opérateurs logiques (union, intersection, différence Ils permettent de combiner les primitives pour créer des solides plus complexes), les manipule par des opérateurs géométriques (translation, rotation, symétrie, homothétie...). [6]

II.3.1. Enumération de l'occupation spatiale

Dans ce modèle [Bhanu87] [Givert88] [Peroche90] [Kholadi91], un objet spatial est représenté par un ensemble de cellules occupées par le volume de l'objet dans l'espace.

Celles-ci peuvent être des volumes quelconques mais l'usage des cubes de taille fixe est très fréquent. Ces cubes appelés <<voxels >> (volumes éléments) sont localisés le plus souvent par les coordonnées d'un point, par exemple le pied du cube, c'est à dire le sommet du cube le plus proche de l'origine du système d'axes.

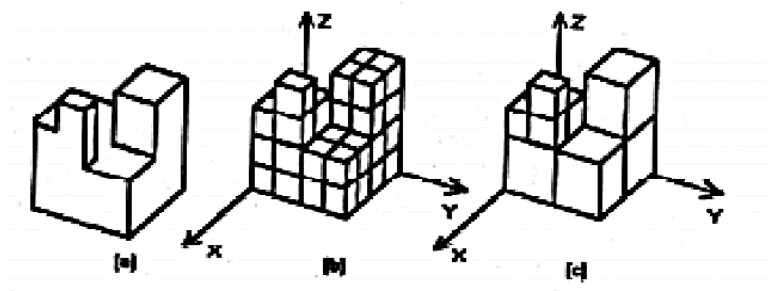


Figure I.9 : Exemple de modélisation par énumération spatiale et arbre octal

Un objet est représenté par un tableau de triplets (x, y, z) appelé tableau spatial, habituellement ordonné et dont l'ordre correspond à l'ordre de la construction de l'objet.

La représentation par énumération spatiale regroupe les représentations par tableau à trois dimensions de voxels, appelé PEARY (Picture Element ARraY), ou par arbre octal (octrees).

- **Représentation PEAR**

La représentation Peary la plus simple est la représentation Peary-binaire; elle consacre un bit à chaque pixel et ne permet seulement de différencier le plein du vide. Le Peary permet de résoudre trivialement tout un ensemble de requêtes : Un point est-il à l'intérieur d'un solide ? quel est le volume d'un solide ? ou est son centre de gravité ? Les opérations booléennes sont effectuées voxel par voxel.

- **Arbre octal**

Dans une représentation Peary, les voxels ⁴voisins ont très souvent la même valeur, ce qui permet d'envisager une forte compression des données. Un objet est décrit par un arbre octal qui est basé sur une subdivision successive et récursive d'un cube en huit cubes homogènes plus petits jusqu'à l'obtention d'un cube minimal homogène, qui est représenté par un octant noir (pour un voxel allumé si le cube est à l'intérieur de l'objet) et blanc (pour un voxel éteint si le cube est à l'extérieur du volume de l'objet).

⁴ Volumétrie pixel : désigne les pixels d'images 3D

◆ **Avantage :**

Facilité de composition à l'aide d'opérateurs logiques de base,

Facilité de visualisation,

Facilité d'obtention à partir d'un autre modèle,

Facilité de calcul des propriétés géométriques et physiques d'un objet spatial.

◆ **Inconvénients :**

Représentation approximative des objets,

Difficulté d'effectuer des opérations géométriques, qui nécessitent la reconstruction de l'arbre octal.

II.3.2.Représentation par volumes élémentaires

Le domaine de ce type [Peroche⁹⁰] [Kholadi⁹¹] de représentation est limité à une famille d'objets, les objets étant indexés à l'intérieur d'une famille par un petit nombre de paramètres. Un objet est ainsi identifié par un n-uplet qui d'une part indique à quelle famille appartient l'objet et d'autre part donne la liste des paramètres permettant de le sélectionner. Par exemple ('cube',3) permet de désigner l'élément de taille trois unités dans la famille des cubes.

Par leur principe, ces schémas sont uniques, non-ambigus et triviaux à valider. L'absence de moyens de composition des familles d'objets pour former des objets plus complexes et l'inexistence d'algorithmes généraux de calcul des propriétés des objets représentés (car les familles d'objets doivent être traitées comme des cas particuliers) en sont les principaux inconvénients. Ce modèle ne se prête donc pas à la description et au traitement des objets complexes.

II.3.3.Géométrie Solide Constructive (CSG)

Dans ce modèle très utilisé en CAO, on dispose d'un ensemble de volumes élémentaires, tels que des parallélépipèdes, des sphères, des cônes, des tores, etc... On paramètre leurs dimensions, telles que largeur, longueur, hauteur, rayon, etc... On dispose de transformations géométriques (translations, rotations, etc.) et d'un ensemble d'opérateurs de composition (union, intersection et différence), qui permettent de combiner les objets de base afin de construire des objets spatiaux complexes.

La représentation de l'intérieur d'un objet généré selon ce modèle est un graphe acyclique binaire appelé souvent arbre de construction CSG, où chaque nœud non-terminal est un opérateur de composition et où les feuilles sont des objets élémentaires. (Figure I.10)

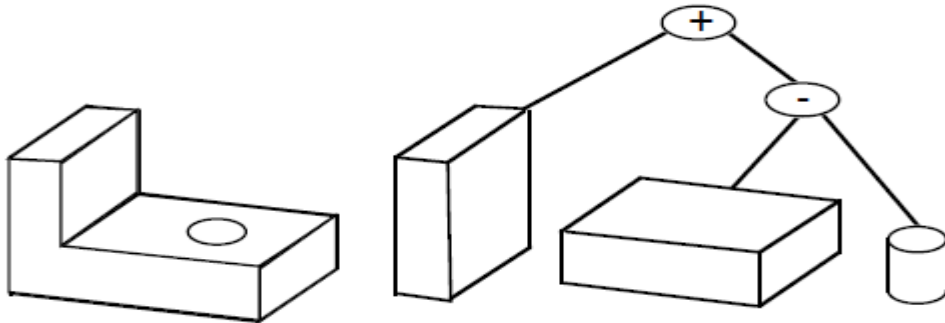


Figure I.10 : Exemple de construction d'un objet et de son arbre CSG associé.

Le résultat d'une opération booléenne doit être un objet régulier typologiquement clos, l'intersection de deux objets ne devant pas donner d'arêtes ou de faces pendantes.

◆ **Avantage :**

- Facilité de création,
- Facilité de stockage,
- Facilité de validation.

◆ **Inconvénients :**

Difficultés de calcul des propriétés géométriques et physiques d'un objet complexe

Difficultés pour effectuer certaines conversions (arbre CSG vers le modèle de représentation par les frontières par exemple).

II.3.4.Représentation par balayage

Un balayage généralisé, un cylindre généralisé, ou un cône généralisé sont définis comme étant le volume décrit par le déplacement d'un ensemble de sections le long d'un axe suivant des règles de balayage. La particularité de la représentation par balayage [Bhanu87] [Besl88] [Chin86b] [Flynn91] [Kholladi91] [Ponce88] est d'utiliser des règles de génération au lieu de paramètres numériques. Un balayage généralisé est défini de la façon suivante : Soit une courbe spatiale appelée axe de la forme ; en chaque point de cet axe, suivant un certain angle, il y a une section plane ; sur chaque section plane, il y a une courbe Plane qui constitue la section de l'objet dans ce plan. Il reste alors à définir une règle de transformation qui spécifie la façon dont évolue la section le long de l'axe.

◆ **Avantage :**

Facilité de description (de l'objet en mouvement et de sa trajectoire),

Facilité de stockage,

Facilité de transformation géométrique.

◆ **Inconvénients :**

Manque d'outils algorithmiques pour le calcul des propriétés géométriques,

Difficulté de mise en œuvre des opérateurs booléens,

Difficulté de visualisation.

III. conclusion

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

Chapitre 2 :

Maillage Triangulaire

I. Introduction

Un maillage 3D (en anglais: *mesh*) est une structure de données géométrique permettant données géométriques permettant de représenter des subdivisions de surface à l'aide d'un ensemble de polygones. Les maillages sont particulièrement utilisés en infographie, pour représenter des surfaces, ou en modélisation, pour discrétiser un espace continu, il est constitué de sommets, connectés les uns aux autres par des faces ou facettes de forme polygonale.[7]

Lorsque toutes les faces sont des triangles, on parle de maillage triangulaire (*trimesh*), ou de triangulation selon les domaines,

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. Utilisation d'un maillage triangulaire

Un calcul nécessite avant d'être lancé sur un maillage :

- la vérification des paramètres à respecter du modèle éléments finis.
- la pose de conditions aux limites.

Et permet alors d'approcher et simuler des comportements, éventuellement sur sollicitation, du système, d'où le nom méthode approchée.

III. Définition et caractérisation d'un maillage triangulaire

Un maillage est la discrétisation spatiale d'un milieu continu, ou aussi, une modélisation géométrique d'un domaine par des éléments proportionnés finis et bien définis.

Un maillage est défini par :

- son repère ;
- les points le constituant, caractérisés par leurs coordonnées ;
- les cellules, constituant des polytopes (Un **polytope** est un objet mathématique) reliant n de ces points ; et peut être caractérisé notamment par :
 - sa dimension : typiquement 2D ou 3D ;
 - son volume (dimension totale couverte) ;
 - sa finesse : surface ou volume moyen des cellules composant le maillage ;

- la géométrie des cellules : triangle, quadrilatères (parallélogrammes, rectangles, polygones, en 2D ; tétraèdres, prismes, hexaèdres (parallélépipèdes, cubes), ..., polyèdres en 3D ; (le degré de l'élément : c'est le degré du polynôme servant à décrire les côtés ou arêtes des éléments)

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.
- Plan lorsque le domaine et l'espace sont en dimension deux ; les mailles sont des polygones.
- Surfaccique lorsque le domaine est en dimension deux et l'espace en dimension trois.
- Volumique lorsque le domaine et l'espace sont en dimension trois : les mailles sont des polyèdres, très souvent des tétraèdres ou des hexaèdres.

IV.1 Méthodes de génération des maillages de surfaces 3D

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.

IV.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 et une bonne approximation du nuage de points en se basant sur les technique 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.

III.1.2 Approche basées sur le diagramme de Voronoi

Reconstruire une surface à partir d'un nuage de points qui l'échantillonnent est un problème que l'on rencontre souvent, qu'il s'agisse d'exploitation géologique, d'imagerie médicale ou industrielle, ou la modélisation des réseaux tels que ceux du GSM.

Pour résoudre ce problème, la grande majorité des algorithmes utilisent un outil central en géométrie algorithmique : la triangulation de Delaunay, nommée d'après Boris Delone, mathématicien russe dont le nom a été francisé en Delaunay. La triangulation d'une surface plane ou volumique est la subdivision de celle-ci en un ensemble de triangles ou tétraèdres caractérisés par leurs sommets en vue de leur modélisation informatique. Lorsque l'échantillonnage est suffisamment dense, on peut fournir des approximations précises de la surface. La triangulation de Delaunay se définit naturellement à partir de ce qu'on appelle le diagramme de Voronoi, du nom du mathématicien russe Georgi Voronoi.

Un **diagramme de Voronoï** est un découpage du plan (pavage) en cellules à partir d'un ensemble discret de points appelés « germes ». Chaque cellule enferme un seul germe, et forme l'ensemble des points du plan plus proches de ce germe que de tous les autres. La cellule représente en quelque sorte la « zone d'influence » du germe. [8]

Soit $S = \{M_1, \dots, M_n\}$ un ensemble de n points du plan euclidien distincts deux à deux. Il s'agit de décomposer l'espace en régions autour de chaque point p de S , telles que tous les points dans la région contenant p soient plus près de p que de n'importe quel autre point de S . Il s'agit donc de s'intéresser aux médiatrices de points voisins de S .

Une fois le diagramme de Voronoï établie, on peut construire son dual géométrique, la Triangulation de Delaunay, comme montré sur la figure II.1. Il s'agit d'un ensemble de triangles en 2D, ou de tétraèdre en 3D.

La triangulation de Delaunay est un type de partitionnement d'un ensemble de points E positionnés dans un plan formé de triangles dont les sommets sont des objets, et qui à eux tous constituent une partition de l'enveloppe convexe de ces objets. [9]

Une triangulation de Delaunay a les propriétés suivantes :

- Le "critère du cercle": un triangle de Delaunay est un triangle qui a comme sommet trois objets, et tel que son cercle circonscrit n'ait en son intérieur aucun autre objet.
- Il parmi toutes les triangulations de E celle qui maximise l'angle minimum de tous les triangles.
- le cercle circonscrit d'un triangle de Delaunay ne contient aucun autre point de p .

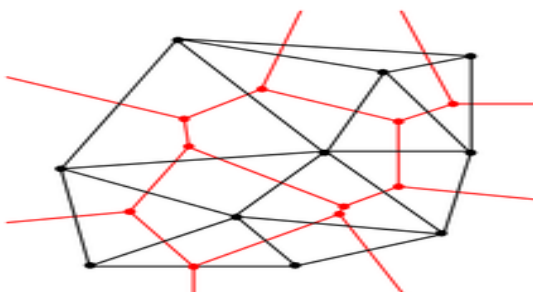


Figure II.1 : Diagramme de Voronoï(en rouge) et sa triangulation de Delaunay(en noir)

III.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, de le simplifier, ou de modifier la position des nœuds pour améliorer la forme des éléments.[9]

III.2.1. Raffinement

La procédure de raffinement est appelée plusieurs fois pendant un calcul, pour conserver un maillage adapté, en permanence, elle est basée sur l'ajout de nœuds dans le maillage de manière à rendre le traitement sur le maillage plus précis.

III.2.2. Déplacements de nœuds

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.

III.2.3. Simplification de maillage

La simplification de maillage consiste à produire, à partir d'un maillage « High-poly » avec un grand nombre de primitives, un maillage « low-poly » qui approche le premier avec un nombre plus réduit de primitives, en vue d'accélérer différentes tâches (typiquement le rendu graphique d'une image à partir du maillage).

Pour afficher rapidement le maillage est simplifié par réduction du nombre de triangles. Il existe différentes algorithmes utilisés pour simplifier un maillage constitué de facettes triangulaires en cherchant à minimiser une énergie donnée. La seule opération de simplification autorisée est la suppression d'une arête.

Ces méthodes d'adaptation de maillage ont pour vocation de modifier un maillage existant pour qu'il satisfasse mieux un certain nombre de contraintes..[10]

IV. Format d'objets 3D

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

- ✓ 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.
- ✓ Des attributs dynamiques s'il est animé : capacité de collision avec d'autres objets, articulations et contraintes, etc....

IV.1. Les Différents formats des objets 3D

On va citer dans ce qui suit les formats les plus répandus:

IV.1.1. DXF (Drawing eXchange Format)

Est un format créé par la société Autodesk servant à échanger des fichiers DAO 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 .

Les fichiers DXF peuvent être de format ASCII (DXF) ou binaire (DXB), 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. [11]

IV.1.2. Le Virtual Reality Modeling Language (VRML)

Est un langage de description d'univers virtuels en 3 dimensions. Ce langage interprété est une norme internationale ISO et les fichiers VRML ont habituellement pour extension .wrl.

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).

Le but premier de ce langage est de permettre la représentation d'univers interactifs 3D virtuels. Les fichiers .wrl sont des fichiers texte décrivant les scènes virtuelles à l'aide du langage VRML. Les fichiers .wrl, qui peuvent être stockés localement sur un ordinateur ou téléchargés depuis un serveur web, sont visualisés à l'aide d'un visionneur, qui est soit un plugin ajouté au navigateur web ou encore un logiciel autonome indépendant du navigateur web, qui est installé sur l'ordinateur de l'utilisateur.

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, des hyperliens, ainsi que leur agencement dans l'espace, leur texture, leur couleur, leur matériau...

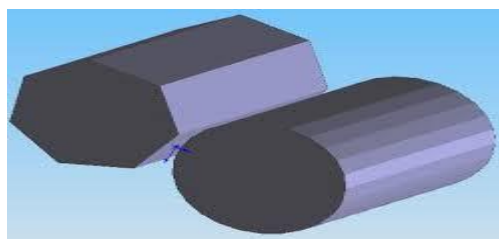


Figure II.2 Exemple d'images 3D enVRML

IV.1.3. 3D Studio Max (ou 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 en 1994. Les programmeurs de Kinetix⁵ (une division d'Autodesk rebaptisée maintenant Autodesk Media and Entertainment) ont mis au point un logiciel entièrement neuf et repensé. Celui-ci sort en 1996.

3ds Max est ainsi conçu sur une architecture modulaire, compatible avec de multiples *plug-ins* (extensions) et les scripts écrits dans un langage propriétaire appelé Maxscript. Le logiciel 3ds Max s'est développé rapidement, en étant utilisé principalement dans les industries vidéoludique, cinématographique et automobile.

Le logiciel est actuellement en version 2016 (3ds max 2016) et est développé par Autodesk (anciennement appelé Discret, qui développe aussi Combustion et d'autres logiciels professionnels), et intègre de très nombreuses fonctionnalités, comme le moteur 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. 3ds Max possède aussi deux moteurs d'animation de personnage: Character Studio et CAT (Character Animation Toolkit). La version de 3ds Max 2016 intègre aussi Max Création Graph un module de création de plug-in fonctionnant de manière nodale. [12]

IV.1.4. OBJ

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 pour des traitements d'import / export de données.

Les formes géométriques peuvent être définies par des polygones ou des surfaces lisses telles que des surfaces rationnelles et non rationnelles.

⁵ Une division d'Autodesk rebaptisée maintenant Autodesk Media and Entertainment.

IV.1.5. Blender(ou Blender3D)

Est un logiciel libre de modélisation, d'animation et de rendu en 3D. Il dispose de fonctions avancées de modélisation, de sculpture 3D, de dépliage UV, de texturage, de rigging, d'armaturage, d'animation 3D, et de rendu. Il gère aussi le montage vidéo non linéaire, la composition, la création nodale de matériaux, la création d'applications 3D interactives ou de jeux vidéo grâce à son moteur de jeu intégré (le Blender Game Engine), 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.

IV.1.6. VTK (The Visualisation Toolkit)

Le format de fichier VTK est utilisé dans le logiciel ParaView pour décrire les résultats de simulation en utilisant la boîte à outils de visualisation (VTK) pour l'infographie 3D, le traitement de données et la visualisation.

Le format repose sur la notion de maillage :

- si l'objet à représenter est une surface, celle-ci est découpée en cellules de type triangles, quadrilatères ou polygones quelconques ;
- si l'objet à représenter est un solide, celui-ci est découpé en cellules de type tétraèdres⁶, hexaèdres⁷ ou polyèdres quelconques.

Il existe en fait deux formats :

- le format dit « héritage » (*legacy*), qui est un format dont l'en-tête est en ASCII ; l'extension de nom de fichier est .vtk ;
- le format pseudo-XML ; l'extension de nom de fichier varie selon le type de maillage utilisé, par exemple .vti pour un maillage de type cubique (« i » comme *image*, référence à une image matricielle).

Les fichiers peuvent être entièrement Unicode, ou bien avoir un descriptif en Unicode suivi d'une donnée binaire,

cette partie de la librairie est particulièrement bien fournie apportant un choix considérable et surtout efficace de méthodes.

⁶ Est un polyèdre composé de quatre triangles.

⁷ Est un polyèdre à six faces.

Actuellement VTK est distribuée comme une surcouche d'OpenGL pour se plier au standard et assurer une grande portabilité. [13]

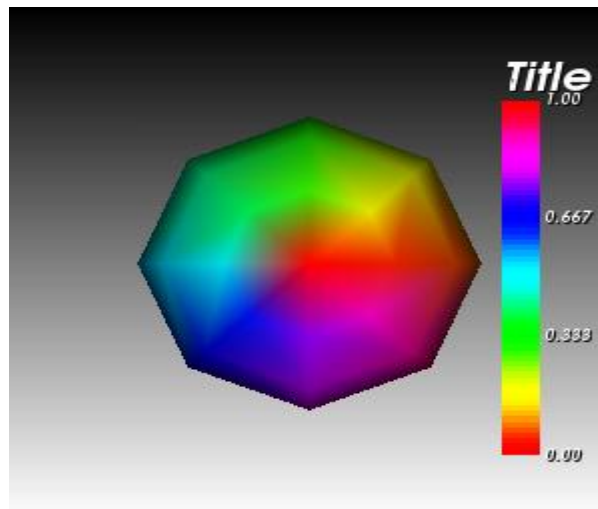


Figure II.3: Exemple d'image 3D en format VTK.

V. 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, et en peut dire que le maillage Leur description est légère, avec un petit nombre de paramètres, il est possible de définir un maillage en entier et Leur modification est très aisée, d'une part par le peu de paramètres à modifier, et d'autre part par la possibilité d'utiliser des algorithmes de projection.

Chapitre 3:

Segmentation d'objets 3D

I. Introduction

Grâce au développement de dispositifs d'acquisition de formes 3D et aux avancées dans les outils de modélisation interactive, le nombre et la diversité des bases de modèles 3D disponibles sur internet, comme la 3D Warehouse de SketchUp, sont en augmentation. L'analyse de haut niveau des formes 3D constitue une tâche primordiale dans de nombreuses applications. En effet, la modélisation de nouvelles formes par composition, l'édition de maillages ou la recherche par le contenu d'objets 3D, requièrent la compréhension de l'information sémantique associée à ces formes 3D. Cependant, la plupart des bases de modèles 3D accessibles en ligne ne contiennent pas ce genre d'information et ne permettent pas de déduire les relations entre les maillages des différents objets. Elles contiennent généralement peu d'information sémantique et ne disposent pas des décompositions cohérentes des modèles en leurs parties significatives. Or ceci peut s'avérer très utile si l'on veut créer de nouvelles formes par assemblage de parties de modèles existants. En effet, ce type d'application requiert de segmenter les modèles en parties significatives (fonctionnelles), et de trouver quelles parties peuvent être mises en correspondance à travers la base de données. Cette application peut utiliser notamment une indexation de formes par parties et des algorithmes conçus pour extraire automatiquement les relations sémantiques et structurelles des modèles appartenant à ces grandes bases. De tels algorithmes sont habituellement basés sur l'analyse des formes 3D.

La segmentation de maillage consiste à subdiviser une surface polygonale en différentes parties présentant des caractéristiques identiques. Cette opération est devenue un outil de prétraitement nécessaire à de nombreuses applications telles que la reconnaissance de forme, compression, etc.

Il existe dans la littérature un grand nombre d'algorithmes de segmentation permettant le traitement des modèles 3D. [14]

II. Définition de la segmentation

Une segmentation est paramétrée par un prédicat d'homogénéité $P: R \rightarrow \{\text{vrai}, \text{faux}\}$ indiquant si une région est homogène d'après le critère testé. Afin que le prédicat soit consistant, il est nécessaire que chaque sous-ensemble d'une région homogène soit

homogène. Un algorithme de segmentation est donc paramétré par un prédicat P et une image. Il retourne une partition de l'image en régions homogènes.

Une région est un ensemble de pixels connexes ayant des propriétés communes qui les différencient des pixels des régions voisines. [Cocquerez et Philip, 1995].

III. Méthodes de segmentation

Comme cité précédemment la segmentation de maillage 3D est apparue comme une problématique importante du fait de sa complexité de mise en œuvre et de la multitude d'applications qui en sont dépendantes.

Pour chaque catégorie de segmentation, de nombreuses méthodes ont été développées, nous discutons dans ce qui suit des méthodes apparues récemment et qui bénéficient d'un rayonnement important dans la communauté.

III.1 Segmentation de maillages triangulaires et rectification directionnelle de frontières basées sur les tenseurs de courbure

Cette méthode proposée par « G. L'avoué, F. Dupont, A. Basket » utilise tous ce que peut contenir une maille triangulaire, en occurrence, les vertex et les triangles. [15]

III.1.1 Algorithme générale

Décomposition de maillages triangulaire en patches surfacique de courbure quasi-constante et connue délimitée par des frontières propres et régulière. L'algorithme est particulièrement adapté aux pièces issues de la CAO.

Notre approche se décompose en deux étapes (voir Fig.III.1):

- **La segmentation en régions surfaciques, basée sur la courbure**

Une étape de prétraitement identifie les arêtes et les sommets aigus. Cette information est nécessaire pour la suite de l'algorithme, en particulier dans le cas des maillages CAO triangulés de façon optimale. Les sommets sont classifiés en clusters selon leurs valeurs de courbure principale K_{min} et K_{max} . Un algorithme de croissance de régions est ensuite effectué réunissant les triangles en régions connexes à partir des clusters de courbure des sommets. Un graphe d'adjacence des régions est alors

construit et réduit afin de fusionner les régions semblables selon plusieurs critères (similitude de courbure, taille et périmètre commun).

- **La rectification de frontières**

La méthode de rectification se compose de deux principales étapes: premièrement, les arêtes frontières sont extraites et pour chacune d'entre elles, un score de justesse est calcul. Puis, à partir des arêtes frontières estimées correctes, les frontières finales des patches sont extraites par un mécanisme de suivi de contours. [16]

A partir de ce score, les arêtes estimées correctes sont marquées et servent de base pour un algorithme de suivi de contour qui extrait les frontières correctes finales de l'objet.

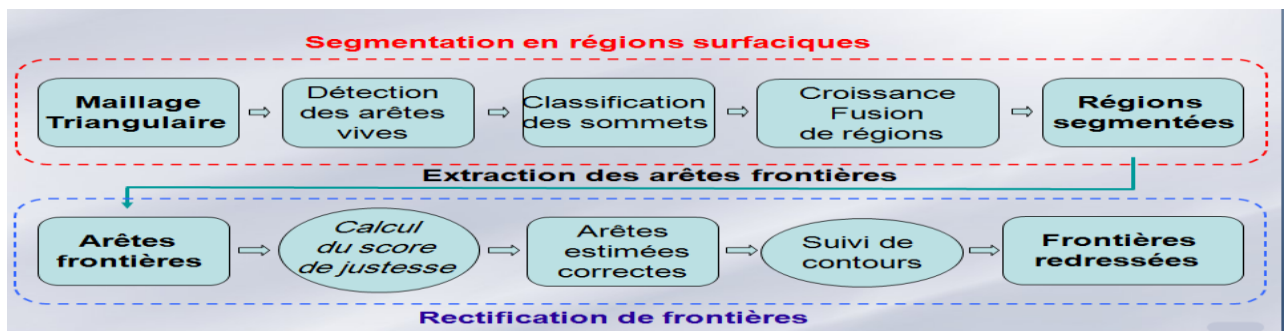


Figure III.1. Les deux étapes de l'algorithme : la segmentation en régions et la rectification de frontières. [17]

Méthode simple originale et efficace de classification, basée sur les directions des tenseurs de courbure,

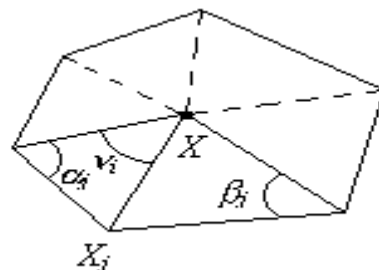


Figure III.2 : Un sommet et les triangles entourant ce dernier.

Les valeurs de courbures discrètes d'un sommet sont calculées comme suit :

a) la courbure discrète moyenne d'un sommet X est définie par :

$$K(X) = \frac{1}{2A} \sum_{j=1}^f (\cot(\alpha_j) + \cot(\beta_j))(X_j - X)$$

b) la courbure gaussienne d'un sommet X est donnée par :

$$Kg(X) = (2\pi - \sum_{i=1}^f \mathcal{G}_i) / A$$

Où A est l'aire de région de Voronoï définie par :

$$A = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^f (\cot(\alpha_j) + \cot(\beta_j)) \|X_j - X\|$$

c) et les courbures principales sont calculées de la manière suivante:

$$K_{max}(X) = Kh + \sqrt{\Delta(X)} \quad K_{min}(X) = Kh - \sqrt{\Delta(X)}$$

$$\text{Avec } Kh = \frac{1}{2} \|K(X)\| \quad \text{et} \quad \Delta(X) = Kh(X)^2 - Kg(X)$$

III.2 Croissance de régions: (seeds en anglais)

Cette approche consiste à faire grossir chaque région progressivement autour d'un germe de départ. La plupart des méthodes de ce type sont dédiées aux segmentations en carreaux de surface. La segmentation est construite alors de façon séquentielle grâce à un algorithme glouton.

L'algorithme se compose de deux étapes : **le choix d'un germe** (une face dans le cas du maillage 3D) et la **croissance de la région** qui lui correspond par agglomération des éléments (faces) voisins. Ce type d'algorithme a une progression descendante :

chaque région se forme par un choix optimum local puis l'on se ramène à la résolution d'un problème plus petit pour calculer les régions restantes. Les algorithmes de cette catégorie diffèrent principalement par le critère d'ajout d'un élément du maillage à une région existante et par la stratégie de sélection des germes (sélectionnés aléatoirement, manuellement ou via une heuristique).

Dans le cas de Zhang et al [ZPK+02], l'arrêt de la croissance de région s'effectue à la rencontre d'une courbe de bord calculée au préalable à partir des points de courbure négative détectés par un seuillage des estimations des courbures gaussiennes aux points de la surface. La phase de segmentation du système Shuffler de Kraevoyet al. [KJS07] utilise, quant à elle, des critères de convexité et de compacité calculés à partir de la région et de son enveloppe convexe pour obtenir des subdivisions des objets en parties approximativement convexes (voir la figure III.3). [18]

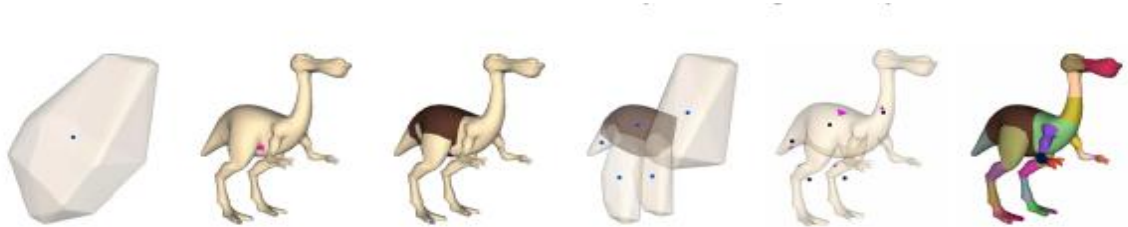


Figure III.3 – Etapes d'une segmentation du système Shuffler. De gauche à droite : l'enveloppe convexe de la région candidate (le modèle entier), une première face germe, son segment correspondant, les enveloppes convexes du segment et des régions candidates suivantes, de nouvelles face germes et la segmentation finale.

III.3 Ligne de Partage des Eaux (LPE) (watershed en anglais)

Est une technique de segmentation par croissance de régions inspirée des bassins versants pour les rivières. L'algorithme travaille sur l'image de gradient représentant l'image. L'image de gradient associe à chaque élément de l'image une valeur numérique exprimant le gradient entre les valeurs des pixels de l'image. Les graines sont sélectionnées de manière automatique comme étant des minimums locaux de l'image de gradient (c'est-à-dire que tous les voisins d'une graine ont une valeur de gradient supérieure ou égale).

Chaque graine détermine un nouveau bassin. Les éléments de l'image sont ensuite attribués à la graine de manière à remplir les bassins. Les frontières entre deux bassins sont appelées crêtes. Ce type de segmentation produit généralement une sur segmentation de l'image, c'est-à-dire qu'il y a beaucoup de régions et qu'il faut en fusionner afin d'obtenir des objets ayant un sens. La Figure III.4 présente un exemple de segmentation par ligne de partage des eaux tiré de [Pet06]. [19]



Figure III.4: Exemple de segmentation par ligne de partage des eaux d'une image 2D : (a) image originale ; (b) image correspondant à la segmentation par ligne de partage des eaux de l'image originale.

III.3.1 Adaptation à la 3D

Deux approches sont alors possibles pour segmenter la surface en des bassins versants [MW99].

- ❖ La première est une approche "ascendante" (voir la figure III.5a) où les germes correspondent aux minima locaux de la fonction hauteur. Il s'agit d'inonder progressivement ces minima locaux jusqu'à atteindre les crêtes où se rencontrent les bassins voisins.
- ❖ La deuxième est une approche "descendante" (voir la figure III.5b) où une goutte d'eau coule dans la direction de la moindre résistance pour atteindre un minimum. Le chemin parcouru par cette goutte sera marqué par la même étiquette que le minimum atteint.

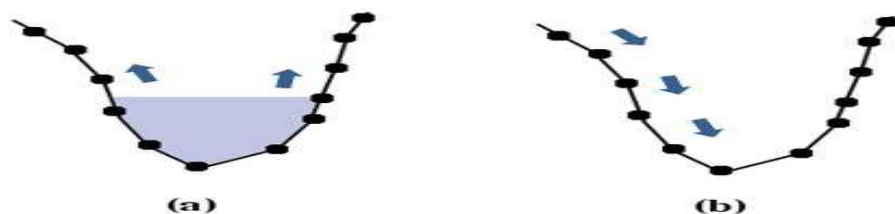


Figure III.5 – Stratégies de l'approche de la ligne de partage des eaux. (a) Approche « ascendante », (b) Approche « descendante ».

Le résultat de la LPE souffre généralement de sur-segmentation. Il est possible de contrôler ce phénomène à l'aide de marqueurs, d'un seuillage des régions ou encore de la segmentation hiérarchique .

III.3.2 Sur-segmentation

Il existe deux principales méthodes pour limiter cette sur-segmentation : la segmentation hiérarchique et l'utilisation de marqueurs.

❖ segmentation hiérarchique

L'approche hiérarchique consiste à fusionner des régions voisines par paires jusqu'à l'obtention des parties significatives souhaitées. L'algorithme est initialisé en associant un segment distinct à chaque face du maillage. Un coût de fusion est calculé pour chaque paire de segments adjacents. Ce coût est réévalué après chaque étape de fusion, au voisinage des segments fusionnés. L'algorithme consiste à fusionner successivement les paires de segments ayant le coût de fusion minimal jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit vérifié. Elle tient compte au Fusion de régions et Schémas de fusion et critère d'arrêt à définir. [20]

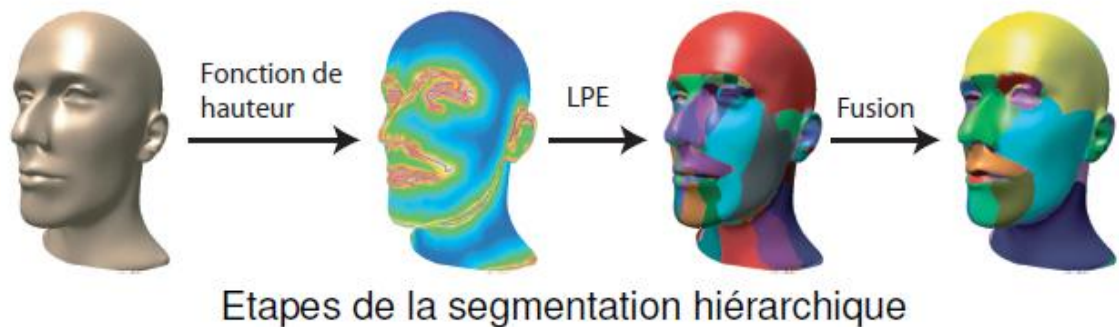


Figure III.6: propose étapes des segmentations avec des niveaux de fusions différents.

❖ Marqueurs

Afin de limiter le nombre de bassins, une technique consiste à marquer certaines régions de l'image d'entrée. Ces marqueurs vont définir les sources depuis lesquelles l'algorithme de la LPE va simuler la montée des eaux.

Ainsi on aura une région par ensemble marqué et réciproquement. Afin d'éviter la création de bassins au niveau des minima locaux il est nécessaire d'effectuer une

modification de l'homotopie de l'image d'entrée qui consiste à combler les sous-bassins non marqués et à mettre les zones marquées au niveau le plus bas de l'image.

Ainsi, les flots depuis les minima vont se propager sur les sous-bassins comblés, empêchant l'algorithme de LPE de générer d'autres régions que celles issues des marqueurs.

Sur le modèle représenté dans la figure 7 en bas à gauche, 6 ensembles ont été marqués : la tête, les cornes, les oreilles, le corps, les jambes et la queue. En haut à gauche 2 marqueurs ont été placés. Les résultats de la LPE sur critère de courbure par covariance, présentés à droite, sont très satisfaisants.

Cette technique fournit des caractéristiques très intéressantes en terme de qualité de segmentation, de robustesse et de temps de calcul, aussi bien sur des objets industriels que naturels. [21]



Figure 7 : Marqueurs et résultat de la LPE

III.3.3 Critère de courbure

Plusieurs approches ont été explorées pour obtenir une estimation de la courbure ; Meyer et al, ont proposé une étude intéressante sur les opérateurs discrets pour estimer la courbure et Mangan et Whitaker ont mis en avant l'efficacité de la norme de la matrice de covariance. Cette dernière méthode s'avère la plus adaptée pour caractériser la courbure des vertex qui correspond au critère de hauteur pour la ligne de partage des eaux.

◆ La matrice de covariance

Le calcul de la courbure par la matrice de covariance repose sur un concept statistique qui consiste à évaluer les variances et covariances des coordonnées des différents vertex appartenant au voisinage. La méthode a été présentée par A. Mangan et R. Whitaker.

Pour un vertex donné, la courbure C est définie par la norme de la matrice de covariance :

$$C = \|M\| \text{ avec } M = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_{zz} \end{pmatrix}$$

Où σ_{uu} représente l'écart type des coordonnées en u du voisinage du vertex, et σ_{uv} représente la racine carrée de la covariance entre les composantes en u et les composantes en v . N correspond au nombre de triangles associés au vertex et $[x_t \ y_t \ z_t]^T$ est le vecteur de la normale du triangle t .

$$\sigma_{uu}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (u_i - \bar{u})^2$$

$$\sigma_{uv}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (u_i - \bar{u})(v_i - \bar{v})$$

III.3.4. Génération des marqueurs

Le marquage des régions qui vont servir de source d'inondation pour la LPE est réalisé à partir du squelette du modèle. La génération du squelette fait intervenir plusieurs procédés tels que la transformation du maillage en contour fermé de voxels, le remplissage du volume (voxelisation) et enfin la squelettisation du modèle.

▪ La voxelisation

Brunner et Brunnet ont proposé une méthode efficace pour stocker les voxels et réaliser la voxelisation sur un maillage fermé. La structure qui contient les voxels ne correspond pas à une image 3D mais à un plan ou tableau en deux dimensions qui, pour chaque case, intègre des couples de voxels. Ces voxels peuvent être associés aux entrées et sorties du rayon qui traverserait l'objet suivant une direction perpendiculaire au plan. [22]

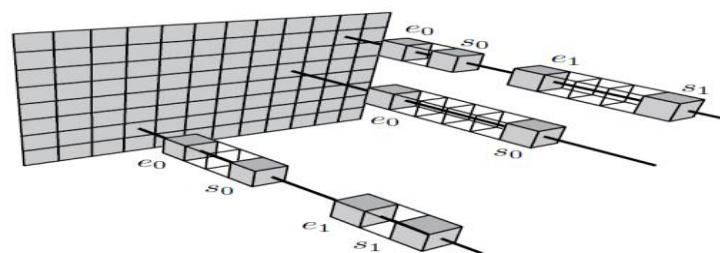


Figure III.8 : Structure de stockage (matrice de stockage) des voxels. Seuls les couples de voxels (entrée/sortie) sont référencés.

La voxelisation revient ici à déterminer l'intersection du rayon avec les faces du maillage. Le rayon entre dans l'objet puis en ressort, il peut y entrer à nouveau et en ressortir.

Karabassi et al 1999, ont proposé un algorithme très rapide de voxelisation mais les parties cachées ne sont pas détectées, il est adapté aux modèles 3D communément utilisés en segmentation de maillages et il fait la Structure de données adaptée à notre algorithme de squelettisation .

La figure III.9 ci-dessous montre la représentation de la voxelisation.



Figure III.9 : la représentation de la voxelisation

▪ La squelettisation

Calculer et associer un squelette à un maillage triangulaire permet de construire une partition de la surface du modèle par l'étiquetage des membres du squelette.

Ce type de méthode est tout à fait adapté aux objets articulés comme les mains, les personnages, les quadrupèdes, etc. Différents algorithmes effectuent une décomposition sémantique d'un modèle en construisant un squelette [LWTH01, LKA06, TVD07, ATC+08, BDBP09].

Le squelette correspond à une décomposition volumique du modèle pour [LWTH01, LKA06]. Dans le cas de Li et al. [LWTH01], les arêtes du squelette sont obtenues par contraction d'arêtes et sont associées à des éléments de volume.

La décomposition résultante est utilisée dans des algorithmes de détection de collision. Lien et al. [LKA06] introduisent une méthode itérative construisant simultanément le squelette et la décomposition du maillage. L'extraction du squelette utilise le centre du composant ou l'axe principal de son enveloppe convexe.

D'après l'algorithme de Palàgyi et Al.2001 qui sert à faire

*Érosion successive de la forme jusqu'à l'obtention du squelette.

*Six sous-itérations.

Mais, il ya une amélioration proposée par Delest et Al.2006 qui contient :

*Trois sous-itérations au lieu de six.

*Accès direct aux voxels de contour.

*Volume 3D uniquement utilisé pour tester le voisinage d'un voxel.

L'algorithme de squelettisation fait intervenir une fonction qui réalise un point dont la suppression ne modifie pas la topologie de l'objet. Et la Suppression successive de points simples suivant les directions Haut, Bas, Nord, Sud, Est et Ouest.

Au et al. [ATC+08] présentent une approche originale de construction de squelette par contraction de maillage. La surface est lissée jusqu'à ce qu'elle soit confondue à un courbe squelette, puis simplifiée en éliminant les arêtes une à une. (voir figure III.10).

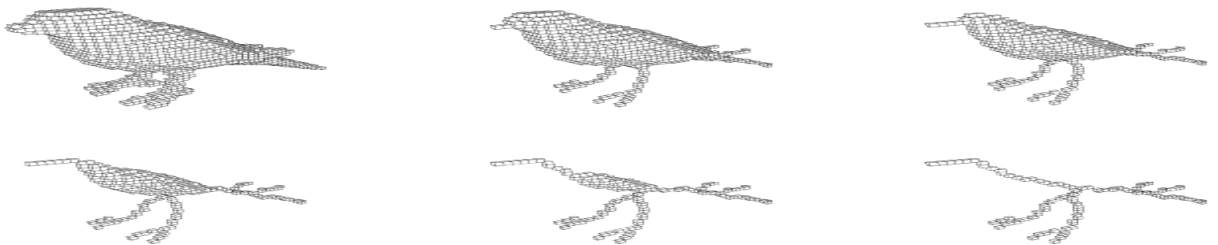


Figure III.10 – Construction de courbe squelette par contraction de maillage, figure extraite de [ATC+08].

▪ Création du marquage

En considérant le squelette du modèle comme un graphe, il apparaît deux principaux types d'éléments : les arcs et les sommets. Les arcs contiennent tous les voxels étant connectés à un ou deux autres voxels et les sommets correspondent aux voxels de jonction qui sont connectés à au moins trois autres voxels.

Le marquage peut commencer par l'attribution d'un label différent à chaque arc. Lors de la création du contour fermé de voxels, les voxels de surface deviennent liés aux faces du maillage qui leur correspondent.

Le squelette du modèle contiendra alors des voxels liés aux faces du maillage et les labels des voxels du squelette pourront être directement transmis aux faces. Les

faces qui sont liées à des voxels ambigus ne seront pas labellisées à cette étape mais le seront après la segmentation par ligne de partage des eaux. (voir figure III.11)

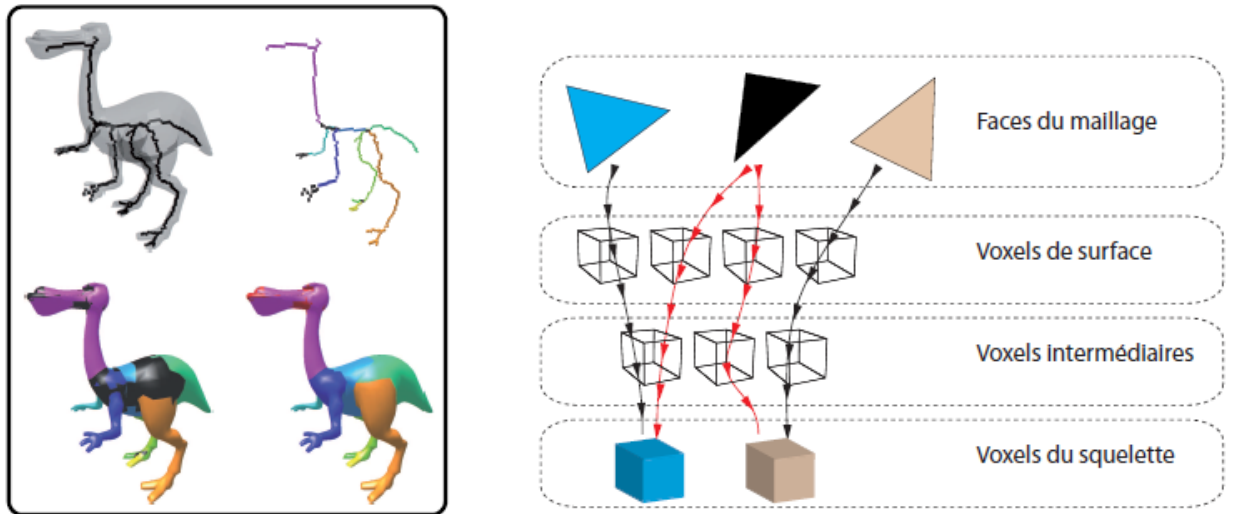


Figure III.11 : La création du marquage.

On conclusion, on peut la schématiser cette méthode par la figure ci-dessous

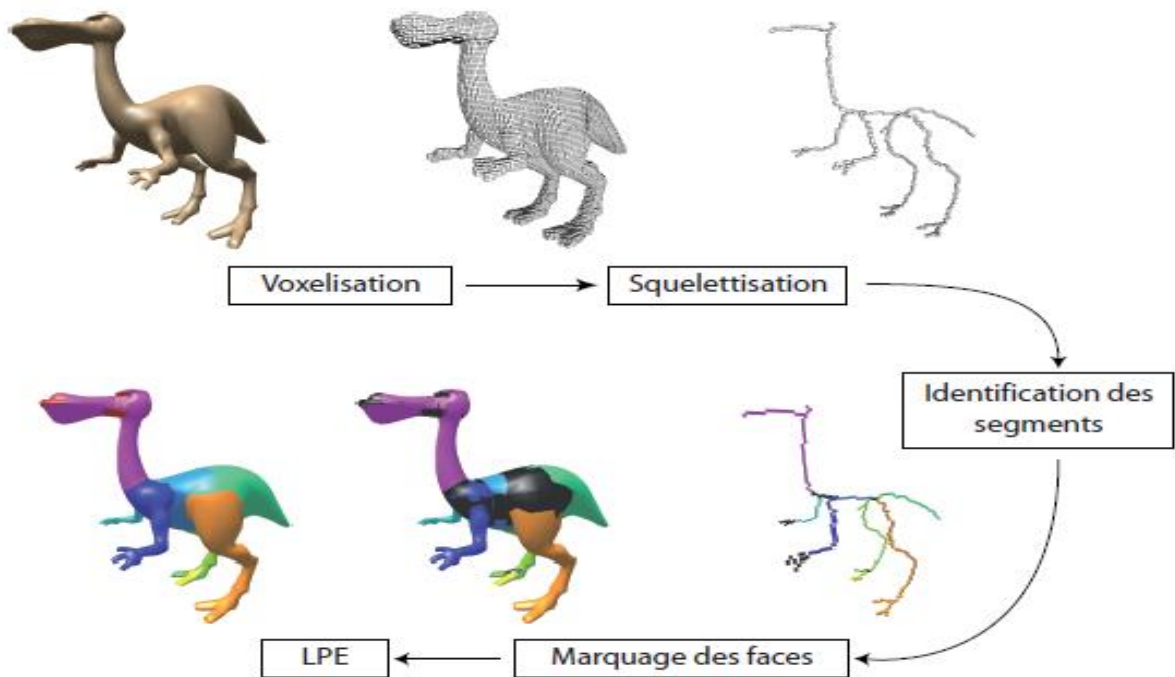


Figure III.12 : les différentes étapes de la LPE.

III.4 Système Multi-Agents

Le système multi-agents (SMA) a pour objet de réaliser le processus d'extraction par la fusion de comportements de coopération et de compétition associés à des agents spécifiques, ces agents étant liés à différents objets de la scène. Par comparaison aux autres systèmes existants en segmentation d'image, l'originalité de l'approche proposée porte sur la détection simultanée de plusieurs objets et dans des temps de calcul rapides face à de grands volumes de données à traiter. Cette approche est caractérisée par un couplage de processus de croissance de régions 3D avec un apprentissage supervisé au sein d'un système multi-agents. [23]

Le système multi-agents produit une segmentation d'images 3D basée sur une étape initiale de sélection, durant laquelle l'utilisateur pointe interactivement un ou plusieurs points germes à l'intérieur de chacun des objets d'intérêt.

Le SMA est composé :

- d'un ensemble d'agents purement situés appelés agents « Workers », qui coopèrent et entrent en compétition de manière à, par croissance de région, maximiser leur «territoire image » (selon la vérification d'un critère de texture et d'intensité).
- d'un agent purement communicant (appelé agent « Contrôleur ») qui coordonne les comportements de tous les agents « Workers ».
- L'architecture adoptée correspond à une organisation micro-sociale puisque la société est seulement composée de quelques agents. L'environnement est défini par le volume de voxels (l'image 3D) à segmenter et les comportements des différents agents introduits sont complètement déterministes.

La segmentation par SMA est une nouvelle méthode de segmentation 3D multi-objets basée sur un schéma multi-agents combiné avec une approche de classification supervisée et un procédé de croissance de région.

L'approche multi-objets autorise un contexte multi-agents et une implémentation compétitive qui conduisent à une amélioration qualitative et quantitative des résultats, en particulier dans les situations ambiguës.

IV. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté ce que sont les images 3D et comment les partition en régions des images sont représentés dans les modèles existants.

La segmentation d'images est l'une des opérations les plus importantes dans le domaine de l'analyse d'images. L'objectif de cette opération est de diviser l'image en zones homogènes (régions).

La segmentation d'une image cause encore aujourd'hui beaucoup de problèmes, aucune méthode ne fonctionne pour toutes les images, il n'y a pas de garantie, pas de recette miracle !

Chapitre 4 :

Implémentation

I. Introduction

Le but de notre travail est de réaliser une application qui permet de faire la décomposition d'un objet 3D en régions, afin d'être utilisées dans les domaines qui interagissent avec la 3D, tel que le traitement des données tridimensionnelles.

II. Choix techniques

II.1 Le langage de programmation

Notre projet en plus de l'interface graphique, nécessite une bibliothèque graphique qui permet de développer des applications 3D. Il existe plusieurs bibliothèques notamment OpenGL. Mais l'existence de la bibliothèque graphique VTK en java en plus du fait que l'un des principaux avantages de Java est sa portabilité native, contrairement à C++, a finalement confirmé notre choix.

II.2. Présentation de l'environnement JAVA

Apparu fin 1995 début 1996 et développé par Sun Microsystems Java s'est très rapidement taillé une place importante en particulier dans le domaine de l'internet et des applications client-serveur.

Les objectifs de Java sont d'être multiplateformes et d'assurer la sécurité aussi bien pendant le développement que pendant l'utilisation d'un programme Java. Il est en passe de détrôner le langage C++ dont il hérite partiellement la syntaxe mais non ses défauts. Comme C++ et Delphi, Java est algorithmique et orienté objet à ce titre il peut effectuer comme ses compagnons, tout les taches d'un tel langage (bureautiques, graphiques, multimédias, base de données, environnement de développement, etc....).

son point de fort qui le démarque des autres est sa portabilité due(en théorie) à ses bibliothèques de classes indépendantes de la plate-forme, ce qui est le point essentiel de la programmation sur internet ou plusieurs machines dissemblables sont interconnectées.

- Java est jeune.
- Java est gourmande en mémoire.

Caractéristiques Java est un excellent candidat pour le développement d'applications de bases de données en fait il est :

- Orienté objet : Tout est classe (pas de fonctions) sauf les types primitifs (Int, float, double,...) et les tableaux.
- Portable : Java supporte un code source écrit en Unicode
- Robuste : Pas d'accès direct à la mémoire.

II.3. Présentation de VTK, bibliothèque de visualisation graphique

VTK (*Visualization ToolKit* en anglais) est une puissante bibliothèque graphique permettant de visualiser de gros volumes de données 2D ou 3D.

Son grand avantage est son large spectre d'applications (du traitement de l'image à la visualisation de données volumiques).

VTK a aussi un système de picking et d'interaction avec les objets 3D très avancé et utilisant divers algorithmes (sélection par frustum, pick color, etc.). Vous pouvez sélectionner des objets entiers ou des primitives graphiques (triangles, points, lignes, etc.).

Son principal défaut est que les performances de VTK s'effondrent s'il contient plus de 1000 objets 3D.

Notre choix s'est porté sur les fichiers de type VTK à cause de la simplicité de la structure des points 3D et des faces qui constituent l'objet tridimensionnel facilement avec les langages Tcl-Tk, Python et Java. La bibliothèque comprend plus de 1 100 classes C++. Elle a été développée à partir de 1993 au Centre de Recherche du groupe General et utilisée en premier dans le domaine médical. Par la suite ses développeurs (Will Schroeder et Ken).

II.4 Organigramme de la méthode de l'implémentation

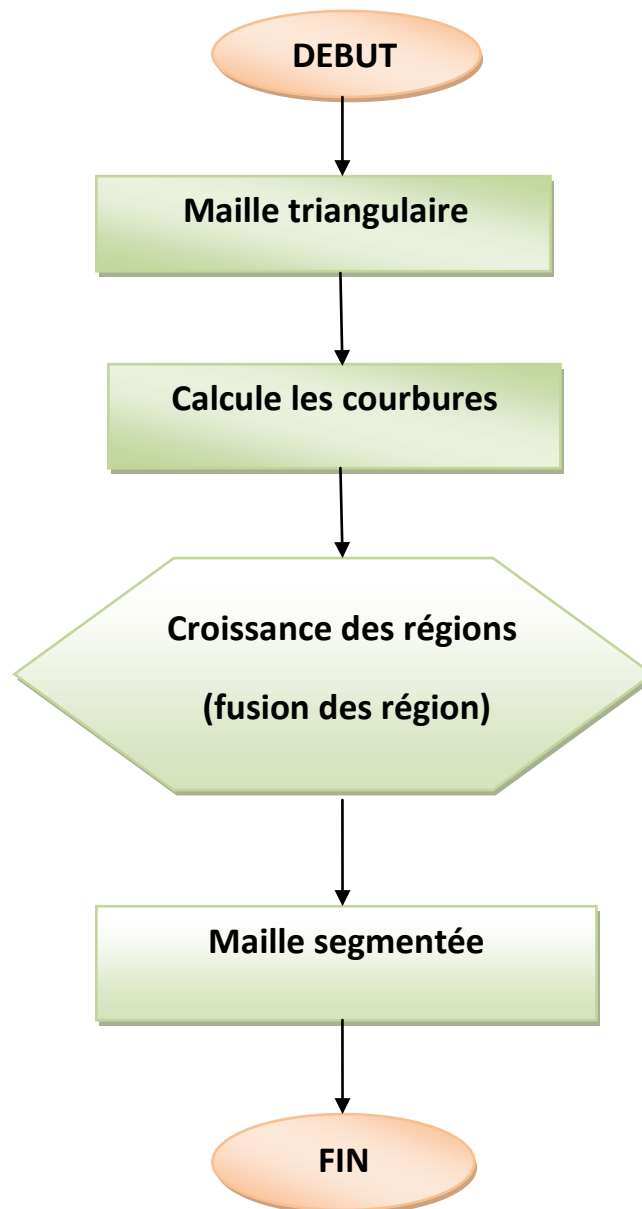


Figure IV.1 : Organigramme de la méthode implémentée.

III. Fonctionnement du logiciel

Les interfaces de l'application Pour mieux comprendre le fonctionnement de l'application, les figures suivantes décrivent la chronologie des principales fonctionnalités de l'application.

III.1. Présentation

Notre application est conçue pour décomposer une image 3D en mailles triangulaires elle se présente comme suit :

La figure d'accueil qui est montrée ci-dessous (figure IV.2)



Figure IV.2 : Accueil de l'application

Comme on peut l'apercevoir dans la figure IV.1 on a le menu qui nous permet d'ouvrir une image 3D d'extension .vtk en cliquant sur le bouton (Ouvrir).

III.2 Expérimentation :

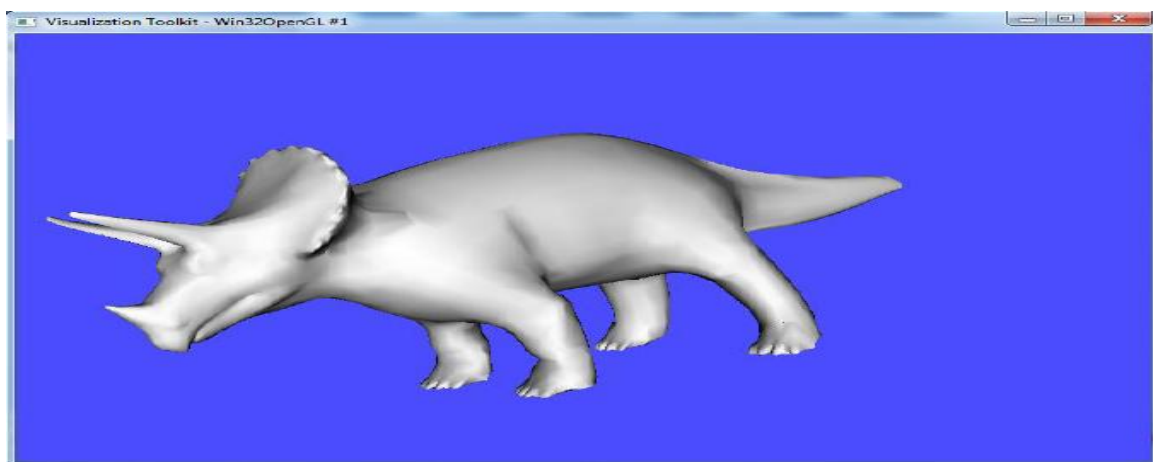


Figure IV.3 : Image 3D.vtk

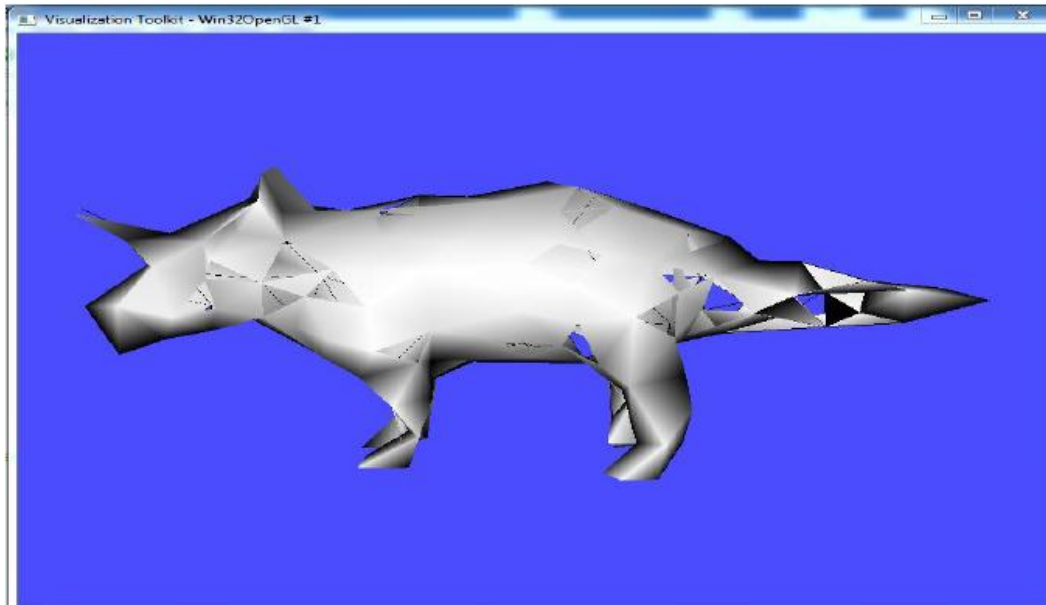


Figure IV.4 : Filtre triangulaire en image 3D

Comme on peut le voir sur la figure VI.4 après qu'on est appliqué le filtre sur l'image 3D, on a comme résultat une image décomposée en mailles triangulaires.

L'étape suivante est la classification des régions en cliquant sur le bouton « croissance de région »

Qui nous donne la forme suivante :

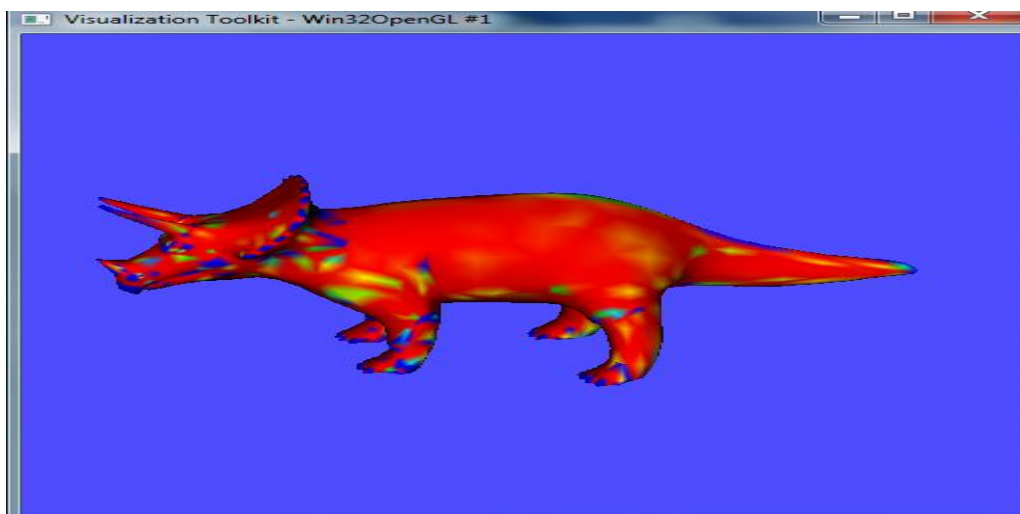


Figure IV.5 : Croissance des régions avec courbure Gaussienne

Nombre de points=2962

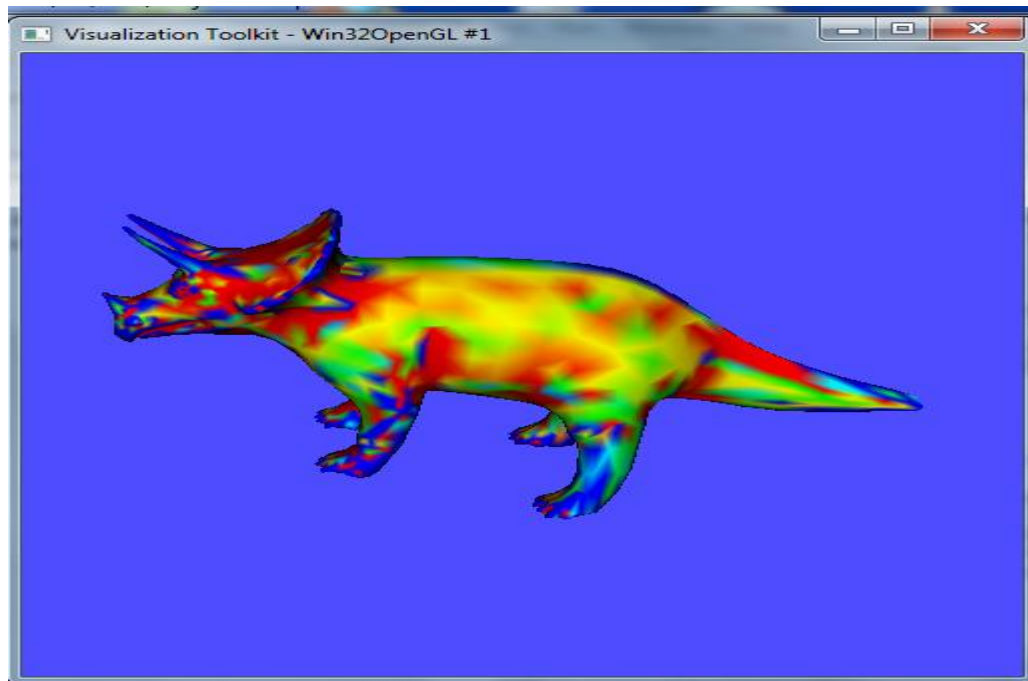


Figure IV.6 : Croissance des régions avec courbure moyenne

Nombre de points =2962

Programme :

Pour pouvoir ouvrir une image 3D, la librairie VTK nous offre la classe **vtkPolyDataReader**, quand à l'enregistrement de l'image résultat on a utilisé la classe **vtkPolyDataWriter**.

Pour appliquer le filtre triangulaire sur l'image 3D en utilisant la librairie VTK, on a la classe **vtkTriangleFilter**.

IV. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre application dont le but est la décomposition de maillage triangulaire, en spécifiant les différentes étapes qui constituent notre travail.

Conclusion générale

Dans ce PFE, nous avons également eu l'occasion de travailler avec les objets 3D, et de mesurer leur importance dans les applications actuelles, qui visent à donner aux machines la capacité de voir et de détecter afin de pouvoir aider, ou même remplacer l'être humain dans de nombreuses applications.

De ce fait la décomposition de maillage triangulaire est devenue une étape de prétraitement très importante pour des traitements ultérieurs sur ces objets.

Nous avons présenté dans ce modeste travail, une méthode de décomposition de mailles triangulaires, et en utilisant les triangles pour générer les différentes régions du modèle 3D.

Notre travail s'inscrit dans un bon nombre d'améliorations sont à envisager :

- Effectuer un algorithme de croissance de régions réunissant les triangles en régions connexes à partir des clusters de courbure des sommets.
- Construction et réduction du graphe d'adjacence des régions afin de fusionner les régions semblables.

Références bibliographique

- [1] « les modélisations géométriques utilisées dans les logiciels de DAO/CAO » consulté le 20/03/2016, disponible sur: <http://www.epi.asso.fr/revue/dossiers/d12p123.htm>
- [2] Christian NGUYEN « Modélisation 3D ».
- [3] Claudia NEGULESCU « Interpolation et approximation : Courbes de Bézier »
- [4] « les courbes et surfaces splines » consulté le 24/03/2016, disponible sur: http://www2.lifl.fr/~grisoni/IMA5/IRV/cours1_Splines.pdf
- [5] « Wikipédia , the free encyclopedia » consulté le 24/03/2011, disponible sur : <http://fr.wikipedia.org/wiki/NURBS>.
- [6] « représentation des courbes et des surfaces » consulté le 26/03/2016, disponible sur: <http://perception.inrialpes.fr/people/Boyer/Teaching/RICM/c1.pdf>-----et du Var.
- [7] « Définition et l'utilisation du maillage 3d » consulté le 27/03/2016, disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Maillage>.
- [8] <http://www.mp-math.com/medias/files/voronoi-sujet-doc.pdf>(voronoi).
- [9] « Maillage 2D, 3D, adaptation » consulté le 28/03/2016, disponible sur <http://www.ann.jussieu.fr/>
- [10] « Adaptation de maillage » L'homme raisonnable s'adapte au monde ; l'homme déraisonnable s'obstine à essayer d'adapter le monde à lui-même. Tout progrès dépend donc de l'homme déraisonnable. (G. B. Shaw).
- [11] « Wikipedia, free encyclopedia », consulté le 28/03/2016, disponible sur : <http://fr.wikipedia.org/wiki/DXF>
- [12] « VRML, 3ds max » consulté le 29/03/2016, disponible sur <https://fr.wikipedia.org/>
- [13] « Wikipedia, free encyclopedia », consulté le 29 /03/2016, disponible sur : <http://www.vtk.org/VTK/img/file-formats.pdf>
- [14] « Segmentation de maillages 3D par l'exemple » consulté le 29/03/2016, disponible sur : https://hal.inria.fr/tel-01093509/file/These_Esma_Elghoul.pdf

- [15] http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/131/1/Decomposition_objets_3D.pdf
- [16] « Rectification directionnelle de frontières pour la segmentation de maillages » G. Lavoué, F. Dupont, A. Baskurt » consulté le 30/03/2016 disponible sur : <http://liris.cnrs.fr/>
- [17] ”Segmentation de maillages triangulaires et rectification directionnelle de frontières basées sur les tenseurs de courbure” Guillaume L'avoué, Florent Dupont, Ailla Basket.
- [18] https://hal.inria.fr/tel-01093509/file/These_Esma_Elghoul.pdf « Segmentation de maillages 3D par l'exemple ».
- [19] « Operations et Algorithmes pour la Segmentation Topologique d'Images 3D » Alexandre Dupas disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/>
- [20] « Segmentation de maillages 3D à l'aide de méthodes basées sur la ligne de partage des eaux » consulté le 30/03/2016 disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00211378/file/presentation.pdf>
- [21] « Segmentation 3D hiérarchique par ligne de partage des eaux sans biais » Jonathan BETSER, Sébastien DELEST, Romuald BONÉ.
- [22] « Génération automatique de marqueurs pour la ligne de partage des eaux 3D » consulté le 01/06/2016, disponible sur : <http://liris.cnrs.fr/>
- [23] Guilhem SAVIN « Segmentation 2D et 3D par Systèmes Multi-Agents », juin 2008.

ملخص

التطوير المستمر لتقنيات الوسائط المتعددة و الواقع الافتراضي ولدت اهتماما متزايدا في استخدام محتوى الأبعاد (D3) وتسهيل معالجة و نقل هذه الأجسام قد تم اقتراح العديد من الخوارزميات التفكيك. تفكيك الشبكات يناظر قطع الشبكة الى مناطق، و هو أداة ضرورية للعديد من التطبيقات التي تشمل الضغط و التبسيط. نقدم لكم في هذا العمل وسيلة لتفكيك الشبكات الثلاثية على أساس معيار الانحناء المنفصل، الذي يحدد شكل الجسم (مسطح، كروية) و يستخدم كل ما قد تحتوي عليه الشبكة الثلاثية، أي القمم و المثلثات.

Résumé

La décomposition de maillage triangulaire correspond au découpage du maillage en régions, c'est un outil nécessaire à de nombreuses applications citons la compression et la simplification.

Nous avons présenté dans ce travail une méthode de décomposition de mailles triangulaires en se basant sur le critère de la courbure discrète, qui permet de déterminer la forme de l'objet (un plan, une sphère), et utilise tous ce que peut contenir une maille triangulaire, en occurrence les vertex et les triangles.

Abstract

The triangular mesh refinement corresponds to the division of the mesh regions is a necessary tool for many applications include compression and simplification.

We presented this work in a decomposition method of triangular meshes based on the criterion of discrete curve, which determines the shape of the object (a plane, a sphere), and uses all that can contain triangular mesh, in this case the vertex and triangles