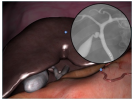
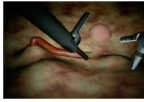
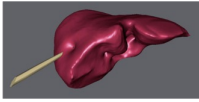


LIRIS

Informatique Graphique, Réalité Virtuelle et Applications médicales

Florence Zara
Université Claude Bernard Lyon 1

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 1

1

Plan du cours

- Informatique et image : différents domaines de recherche
 - Traitement d'images, synthèse d'images, Réalité Augmentée, Réalité Virtuelle
- Domaines d'applications de l'Informatique Graphique
- Comment créer des images virtuelles ?
 - Modélisation, animation, visualisation, pipeline graphique
- Comment interagir avec l'image créée ?
 - C'est la Réalité Virtuelle
- Apport de la Réalité Virtuelle dans le monde médical
 - Conception de simulateurs d'apprentissage de gestes médicaux

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 2

2

Sources utilisées (à la base....) – Transparents de cours

Vincent Luboz - Pierre-Frederic Villard
Developing VR Surgical Simulation Software - Nombreuses images issues de ce cours
Department of Biosurgery and Surgical Technology - Imperial College London

Nicolas Holzschuch
Création d'images virtuelles (DEA IVR)
Rendu Volumique (DEA IVR)
ARTIS-INRIA Grenoble

Joëlle Thollot – Xavier Décoret – François Sillon
Modélisation Géométrique (DEA IVR) - Nombreuses images issues de ce cours
ARTIS-INRIA Grenoble

Alexandre Meyer
Pipeline du rendu projectif (Gamagora)
LIRIS – Lyon

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 3

3

Références de livres pour en savoir plus

Foley, van Dam, Feiner et Huges
Computer Graphics - Principles and Practice

Foley, van Dam, Feiner, Huges et Philipps
Introduction to Computer Graphics

Livres écrit sous la direction de **Péroche et Bechmann**
Informatique Graphique et Rendu
Informatique Graphique, modélisation géométrique et animation

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 4

4

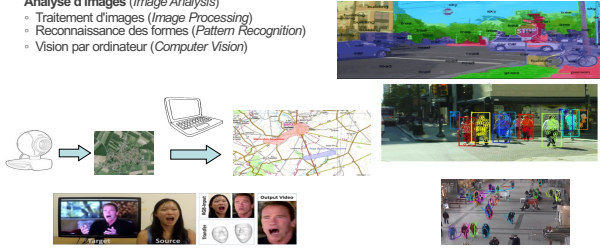



Informatique et Images : différents domaines de recherche

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 5

5

Informatique et images : différents domaines de recherche

- Analyse d'images (*Image Analysis*)
 - Traitement d'images (*Image Processing*)
 - Reconnaissance des formes (*Pattern Recognition*)
 - Vision par ordinateur (*Computer Vision*)

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 6

6

Informatique et images : différents domaines de recherche

Synthèse d'images (Computer Graphics)

- Modélisation
- Animation
- Rendu

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 7

7

Informatique et images : différents domaines de recherche

Mélange des 2 = image réelle + image virtuelle = **Réalité Augmentée**

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 8

8

Informatique et images : différents domaines de recherche

Synthèse d'image + matériel de vision + robotique : **Réalité Virtuelle**

Immersion + interaction

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 9

9

Informatique et image : utilisation de l'Intelligence Artificielle

Pour générer / analyser des images

Single in-the-wild facial image Shape and Reflectance Fitting Photorealistic Rendering Shape Rendering

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 10

10

Informatique et images : différents domaines de recherche

Apprentissage automatique pour le traitement d'images

A partir d'une banque d'exemples, l'ordinateur apprend à classer les éléments

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 11

11

Domaines d'applications de l'Informatique Graphique (Computer Graphics)

Pourquoi créer des images virtuelles ?

De nombreux domaines d'application pour l'informatique graphique

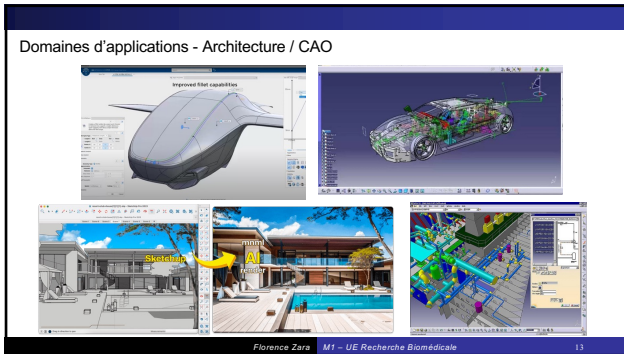
Illustration de quelques exemples :

- Architecture / Conception Assistée par Ordinateur (CAO)
- Applications pour le médical
- Visualisation scientifique
- Loisirs numériques : films d'animation, jeux vidéos, effets spéciaux

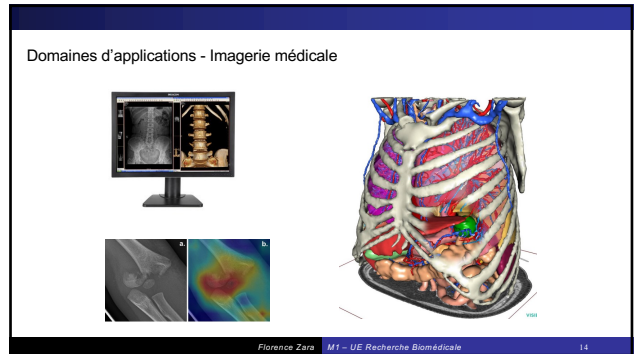
Mais beaucoup d'autres...

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 12

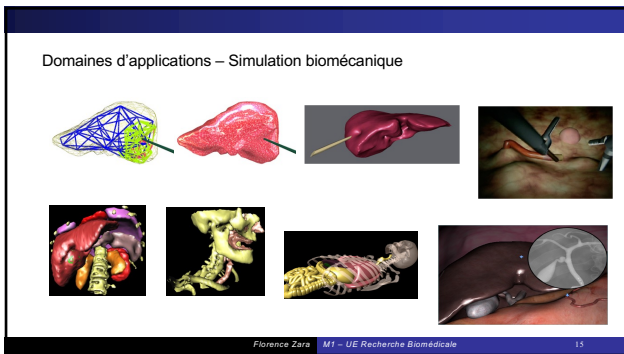
12



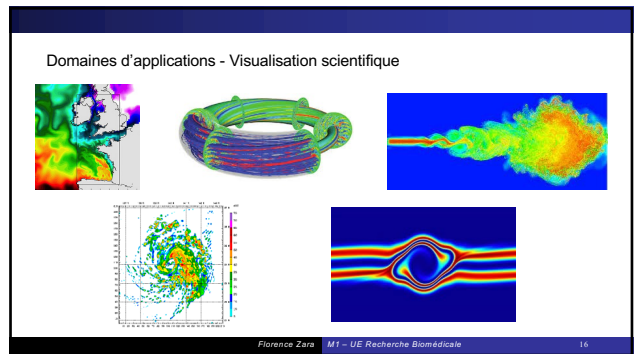
13



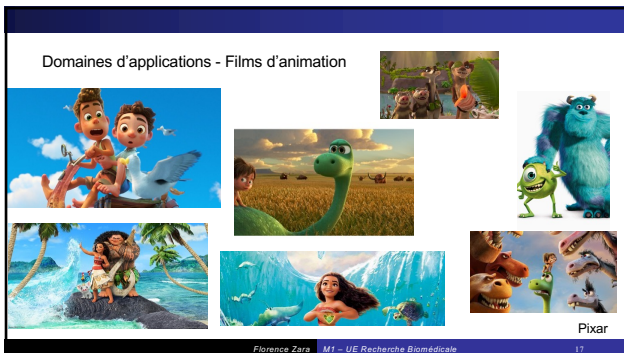
14



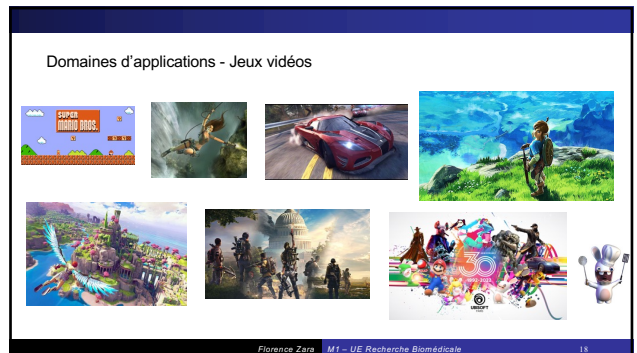
15



16



17



18

Domaines d'applications – Effets spéciaux

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 19

19

Domaines d'applications – en bilan

Pas les mêmes besoins selon les domaines d'application
 Réalisme plus ou moins important
 Temps d'exécution plus ou moins important
 Interactivité ou non avec les images créées

Pas les mêmes méthodes employées pour créer ces images
 Modèles et algorithmes différents
 Utilisation ou non du GPU, multi-cœurs

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 20

20

Comment créer des images virtuelles ?

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 21

21

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées

1. **Création de la scène 3D**

- Un ou plusieurs objets à positionner dans la scène
- Objet constitué de sommets / d'arêtes / de faces / de volumes élémentaires
- Chaque sommet est défini par sa position dans l'espace 3D : coordonnées (x,y,z)

Considérons le cas où les objets sont décrits par des triangles

Représentation de l'objet = maillage surfacique qui est défini par

- un ensemble de sommets
- un ensemble de faces (triangles)
- faces décrites par 3 sommets
- faces reliées ensemble par des arêtes communes

$$P_1 = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

C'est l'étape de modélisation de la scène

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 22

22

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées

2. **Les coordonnées (x,y,z) des sommets des objets peuvent changer au cours du temps**

- Les objets sont en mouvement : translation, rotation
- Les objets peuvent se déformer :
 - Changement de coordonnées des sommets induit déformation des faces / volumes de l'objet

C'est l'étape d'animation / simulation des objets de la scène

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 23

23

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées

3. **Informations supplémentaires pour afficher la scène 3D sur l'écran 2D**

- Des primitives graphiques (couleur, propriétés matériaux) sont attachées aux sommets
- Des lumières doivent être positionnées dans la scène : position (x,y,z) des spots ayant une couleur
- Un observateur (ou une caméra) doit être positionné : position (x,y,z) de la caméra
- Qui s'ajoute à la position et orientation des objets de la scène dans le repère monde (repère initial)

Ces informations permettront de faire l'affichage à l'écran de la scène qui est l'étape de rendu

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 24

24

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées

Au final, la scène 3D est constituée :

- De lumières ayant une position (x,y,z)
- D'une caméra ayant une position (x,y,z)
- D'objets positionnés / orientés dans le repère monde (repère initial)

La description de cet ensemble va permettre de générer l'image 2D à un instant donné
Pour cela les objets vont remplir une partie de l'image 2D à un instant donné

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 25

25

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Une étape importante : création de l'image finale

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 26

26

Création d'une image – au fait, c'est quoi une image en Informatique ?

- Rectangle (2D) : tableau 2D de pixels (= *picture element*)
 - nombre de lignes
 - nombre de colonnes
 - format des pixels (bit, niveaux de gris, niveaux de couleurs)
 - compression éventuelle

Image = ensemble de pixels

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 27

27

Et une vidéo ? C'est une séquence d'images

Il y a souvent de la compression : des images, et entre les images

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 28

28

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Transformation à effectuer pour afficher la scène 3D sur un écran 2D
c'est-à-dire pour passer d'un espace 3D à un espace 2D

Plusieurs techniques possibles : cas simple du rendu projectif

Les objets sont projetés sur l'écran dans la direction de l'œil / de la caméra

Transformation des coordonnées 3D des modèles vers les coordonnées 2D des pixels

D'autres étapes encore à faire suite à cette projection

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 29

29

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Etapes du pipeline graphique (faites par la carte graphique) réalisées suite à cette projection

- Clipping des objets 3D selon la pyramide de vue
- Calcul de la couleur des pixels = illumination
- Résolution de l'occlusion avec la suppression des parties cachées = Z-Buffer

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 30

30

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Problème du clipping à gérer pour créer l'image 2D

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 31

31

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Calcul de la couleur de chacun des pixels de l'image 2D = illumination

La couleur du pixel est définie soit :

- de manière explicite
- ou selon un modèle de fond établi aux sommets des triangles,
- puis interpolation pour remplir les pixels à l'intérieur des triangles

Tient compte de la lumière pour donner un aspect plus réel
Tient compte du placement de lampes qui ont une couleur
Tient compte des couleurs des différents objets

Nécessité de calculer la normale aux différents sommets de la surface

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 32

32

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Pour tenir compte de la lumière - Il existe différents types de lumière

Composante ambiante : constante qui colore les pixels d'un objet par la même couleur quelque soit l'environnement lumineux.

Composante diffuse (différente pour chaque sommet) : permet de donner un effet 3D et lissé aux objets.

Composante spéculaire : correspond au léger reflet de la lumière sur les bords des objets.

Composante émissive : simulation de la lumière émise par un objet.

Composantes ambiante, diffuse, spéculaire et émissive

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 33

33

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Modèle de Phong

L'illumination de Phong est un modèle local : il calcule l'intensité en chaque point

Il combine trois éléments :

- la lumière diffuse (modèle Lambertien)
- la lumière spéculaire
- et la lumière ambiante

Formule de couleur pour les différents sommets : $K_a L_a + K_d L_d \cos \theta + K_s L_s \cos \theta$
avec θ l'angle formé par la direction de l'œil et la source lumineuse

Ambient + Diffuse + Specular = Phong Reflection

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 34

34

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Problème de l'occlusion

Le problème apparaît quand un objet se trouve devant un autre

Il faut alors prendre en compte qu'un objet n'est pas toujours visible selon le point de vue de l'observateur

Ceci n'est pas pré-calculable car dépend du point de vue

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 35

35

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Savoir quel objet est visible sur l'image = test de profondeur

Le Z-Buffer permet de gérer le problème de la visibilité

→ déterminer quels éléments de la scène doivent être rendus, c'est-à-dire lesquels sont cachés par d'autres et dans quel ordre l'affichage des primitives doit se faire.

Z-Buffer = tableau à 2 dimensions (et Y) de la même taille que l'image
= chaque élément est un pixel de l'écran
= stocke les valeurs de profondeur des pixels (coordonnée Z)

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 36

36

Etapas de bases pour créer des images virtuelles animées – Pipeline Graphique

Algorithme employé


Si un autre élément de la scène doit être affiché aux mêmes coordonnées (X,Y), la carte compare les deux profondeurs (Z), et n'affiche que le pixel le plus proche de la caméra

La valeur Z de ce pixel est ensuite placée dans le tampon de profondeur, remplaçant l'ancienne

Au final, l'image dessinée reproduit la perception de la profondeur habituelle et logique, l'objet le plus proche cachant les plus lointains.



A simple three-dimensional scene



Z-buffer representation

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 37

37

En résumé, les étapes de bases pour créer des images virtuelles animées

- 1- **Modélisation** : représentation mathématique des objets virtuels
- 2- **Simulation / animation** : déformation et mouvement des objets virtuels
- 3- **Visualisation / rendu** : affichage des objets virtuels - pipeline graphique



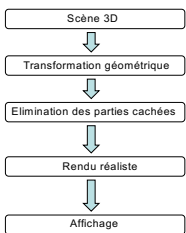
modélisation en 3D rendu

Chaque étape correspond à un domaine d'expertise à part entière

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 38

38

Création d'images virtuelles en Informatique Graphique – Pipeline Graphique

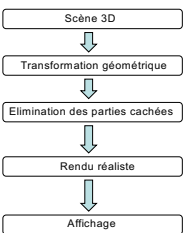


- Modélisation géométrique
- Animation
- Transformation
- Projection
- Z-Buffer
- Modèles de couleur
- Modèles d'illumination locale
- Textures
- Eclairage local (ombres, reflets) et global
- Ecran

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 39

39

Création d'images virtuelles en Informatique Graphique – Pipeline Graphique



- Modélisation géométrique
- Animation
- Utilisation de la librairie OpenGL :
 - Rendu (éclairage, etc.)
 - Affichage à l'écran (projection, éliminations des parties cachées, ...)
- Rendu volumique

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 40

40

Etapas de bases pour créer des images virtuelles animées

- 1- **Modélisation géométrique** : représentation mathématique des objets virtuels
- 2- **Simulation / animation** : déformation et mouvement des objets virtuels
- 3- **Visualisation / rendu** : affichage des objets virtuels

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 41

41

Modélisation géométrique

Intérêt

- Permet de représenter un objet qui sera ensuite manipulé
 - objets réels ou virtuels / inventés
 - carrosserie de voiture, réacteur nucléaire, etc.
- Permet de rendre observables certaines caractéristiques
 - visite de réacteur nucléaire, etc.
- Remplace les maquettes à taille réduite
 - réduction des coûts

Utilisation

Affichage, animation, simulation physique, etc.

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 42

42

Modélisation géométrique

Les modèles géométriques

- modèles **non structurés**
 - points
 - soupes de polygones
- modèles **structurés**
 - maillages volumiques
 - voxels, tétraèdres, etc.
 - modèles **procéduraux**
 - fractales
 - système de particules
 - modèles **à base d'images**
 - acquisition
 - rendu
- modèles **surficiels**
 - maillage surficiel
 - surface paramétrique
 - surface de subdivision
 - surface implicite

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 43

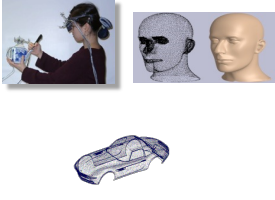
43

Modélisation géométrique

Modèles non structurés - Nuages de points

Modèles obtenus

- par digitalisation manuelle ou par scanner
- par reconstruction à partir d'images
- par échantillonnage d'un autre modèle



simple à afficher mais demande beaucoup de ressource mémoire

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 44

44

Modélisation géométrique

Modèles non structurés - Souples de polygones

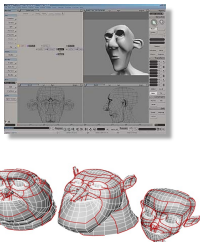
Ensemble non structuré de facettes

Avantages :

- représentation native de OpenGL
- nombreux logiciels d'édition

Inconvénients :

- opérations autre que l'affichage compliquées
- édition fastidieuse



Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 45

45

Modélisation géométrique

Modèles surficiels - Maillages surficiels

Ensemble connecté de polygones

- triangles, quads, polygones convexes

Permet de représenter

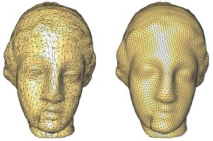
- la forme et la topologie de l'objet

Affichage facile avec librairie dédiée (OpenGL)

Permet d'effectuer facilement des calculs

- normales, courbures, simplification, etc.

modèle souvent employé en animation



Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 46

46

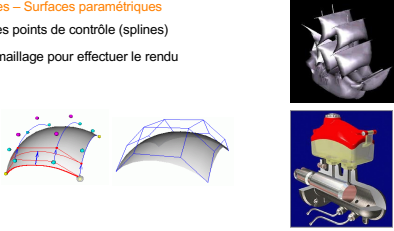
Modélisation géométrique

Modèles surficiels - Surfaces paramétriques

Définition par des points de contrôle (splines)

Convertible en maillage pour effectuer le rendu

Edition aisée



Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 47

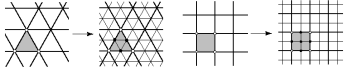
47

Modélisation géométrique

Modèles surficiels - Surfaces de subdivision

Schéma de subdivision appliqué récursivement sur un maillage

- raffinement d'un ensemble de primitives géométriques en un ensemble plus dense
- création de nouveaux points et de nouvelles faces
- représentation multi-résolution naturelle d'une surface
- obtention d'une surface lisse



Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 48

48

Modélisation géométrique

Modèles surfaciques – Surfaces de subdivision

Il existe de nombreux schémas de subdivision
 → les divisions de surface Catmull-Clark, Doo-Sabin, Loop, etc.

(a) 25,000 vertices (b) 5,000 vertices (c) 500 vertices.

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 49

49

Modélisation géométrique

Modèles surfaciques – Surfaces de subdivision

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 50

50

Modélisation géométrique

Modèles surfaciques – Surfaces de subdivision

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 51

51

Modélisation géométrique

Modèles surfaciques – Surfaces de subdivision

Loop Doo-Sabin Loop Doo-Sabin

Loop Doo-Sabin Loop Doo-Sabin

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 52

52

Modélisation géométrique

Modèles procéduraux - Fractales

Utilisation de fractale pour élaborer des modèles

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 53

53

Modélisation géométrique

Modèles procéduraux – Fractales

Modèles souvent utilisés pour les terrains : générés au cours de l'exécution

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 54

54

Modélisation procédurale

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 55

55

Modélisation géométrique

Modèles surfaciques – Surfaces implicites

Surfaces implicites donnent une représentation volumique de l'objet

La surface n'est pas directement connue mais caractérisée indirectement comme l'ensemble des points de l'espace p solution d'une équation $f(p) = 0$

- permet de représenter un équipotentiel
- permet de déterminer si un point se trouve à l'intérieur ou l'extérieur du volume délimité par la surface (collisions, lancer de rayon)

Surfaces implicites adaptées pour les objets déformables avec changement de topologie ou de forme géométrique

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 56

56

Modélisation géométrique

Modèles surfaciques – Surfaces implicites

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 57

57

Modélisation géométrique

Modèles surfaciques – Surfaces implicites

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 58

58

Modélisation géométrique

Modèles volumiques – Voxels

Discretisation régulière de l'espace

2D → pixels

3D → voxels (élément de volume)

Une valeur est associée à chacun des voxels mais pas de connexion entre les éléments de volumes

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 59

59

Modélisation géométrique

Modèles volumiques – Voxels

Valeurs obtenues par l'évaluation discrète d'une fonction issue d'une simulation numérique → valeurs de $f(x, y, z)$

→ Rendu Volumique employé pour l'affichage des voxels

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 60

60

Modélisation géométrique

Modèles volumiques – Voxels

Valeurs obtenues à partir de coupes

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 61

61

Modélisation géométrique

Modèles volumiques – Maillages volumiques

Ensemble connecté de polyèdres

- tétraèdres, hexaèdres, prismes, etc.

Permet de représenter

- la forme et la topologie de l'objet

Affichage facile avec OpenGL

Obtention possible à partir d'un maillage surfacique

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 62

62

Modélisation géométrique

Au final : il existe de nombreux modèles qui sont adaptés à différents besoins

Dans le cadre de la réalisation de simulations pour le médical, modèles usuellement employés :

- Maillages surfaciques et maillages volumiques

Le modèle géométrique permet de décrire les caractéristiques des objets présents dans la scène 3D :

- De base : forme, topologie des objets
- Et plus encore : comportement physique, lumineux, propriétés du matériau, etc.

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 63

63

Etapes de bases pour créer des images virtuelles animées

- 1- **Modélisation** : représentation mathématique des objets virtuels
- 2- **Simulation / animation** : déformation et mouvement des objets virtuels
- 3- **Visualisation / rendu** : affichage des objets virtuels

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 64

64

Animation d'objets 3D

Il existe différentes techniques d'animation en Informatique Graphique :

- Interpolation à partir de positions clés
 - cinématique directe et inverse
- Capture de mouvements
 - grande qualité mais spécifique
- Utilisation de modèles physiques
 - complexe mais permet une simulation automatique et réaliste

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 65

65

Animation de personnage

- Motion Capture (capture de mouvement) pour produire une animation

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 66

66

Animation de personnage

Les étapes de la capture de mouvement :

- Segmentation des marqueurs sur les images de chaque camera
- Reconstruction 3D de chaque marqueur
- Correspondance avec un squelette

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 67

67

Animation de personnage

- Skinning
- Contrôle de mouvement

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 68

68

Animation de visage

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 69

69

Animation par modèles physiques

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 70

70

La modélisation est adaptée aux types d'objets à animer

Objets rigides

<https://youtu.be/nF6LowlH2Q>

Objets déformables

Simulation d'objets déformables à effectuer dans le cadre d'applications médicales

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 71

71

Exemples de simulation d'objets déformables en Informatique Graphique

https://youtu.be/b5JmSw8_Xw
<https://youtu.be/xwGnBkevLYI>

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 72

72

Animation par modèles physiques – Quelques vidéos

Simulation de fluide :
https://www.youtube.com/watch?v=8iU1bstNA_0
<https://youtu.be/8o4E448P>
<https://youtu.be/8o4E448P>
<https://youtu.be/8o4E448P>
<https://youtu.be/8o4E448P>

Simulation de fracture :
<https://youtu.be/1NfSv2rkKp>

Simulation de neige :
<https://youtu.be/71B3xJ18NU>
<https://youtu.be/1E32cmbyw5c>
<https://youtu.be/1E32cmbyw5c>
<https://youtu.be/1E32cmbyw5c>

Simulation de sable :
<https://youtu.be/8o4E448P>
<https://youtu.be/8o4E448P>

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 73

73

Animation par modèles physiques

Il existe un certain nombre de modèles physiques :

- Méthode de résolution des Eléments Finis : basée sur la Mécanique des Milieux Continus
 - Simulation précise mais couteuse en temps de calcul
- Modèle discret des masses-ressorts : issue de l'informatique graphique
 - Simulation interactive mais approximation de la réalité
- Approche *Position Based Dynamics* : issue de l'informatique graphique
 - Basée sur la résolution de contraintes

Compromis précision et temps de calculs à faire

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 74

74

Animation par modèles physiques – Dynamique Newtonienne

Objet caractérisé par sa position, vitesse et accélération

Vitesse = dérivée par rapport au temps de la position : $v = x'$
 Accélération = dérivée par rapport au temps de la vitesse : $a = v' = x''$

Position = intégration de la vitesse par rapport au temps
 Vitesse = intégration de l'accélération par rapport au temps

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 75

75

Animation par modèles physiques – Dynamique Newtonienne

Objet également caractérisé par sa masse (en Kg) et par sa force (en N)

Accélération de l'objet proportionnelle à l'intensité de la force

Force d'un Newton = intensité de la force requise pour donner une accélération d'un mètre par seconde au carré à une masse d'un kilogramme

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 76

76

Animation par modèles physiques – Dynamique Newtonienne

Première loi de Newton

En l'absence de toute force, un objet au repos reste au repos

Si l'objet est en mouvement, et qu'aucune force extérieure ne lui est appliquée, sa vitesse reste constante

⇒ Mouvement d'un objet ne peut être modifié que par l'intervention d'une force

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 77

77

Animation par modèles physiques – Dynamique Newtonienne

Seconde loi de Newton : principe fondamentale de la dynamique

Soit un objet de masse constante m
 accélération $\ddot{a}(t)$
 et force $\vec{F}(t)$

Equation du mouvement :

$$\vec{F}(t) = m\ddot{a}(t) \Rightarrow \ddot{a}(t) = \vec{F}(t)/m$$

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 78

78

Animation par modèles physiques – Dynamique Newtonienne

Temps continue est discrétisé

Etapes de calculs à effectuer à chaque pas de temps de la simulation = boucle de simulation

1. Calcul des forces exercées sur l'objets
 - forces dues au modèle physique employé
 - forces extérieures (gravité, etc.)
2. Calcul des accélérations (PFD) : somme des forces = masse x accélération
3. Intégration des accélérations pour obtenir les vitesses
4. Intégration des vitesses pour obtenir les positions
5. Affichage de l'objet

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 79

79

Animation par modèles physiques – Choix du modèle physique

Systèmes de particules

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 80

80

Animation par modèles physiques – Choix du modèle physique

Système masses-ressorts

Matériel discrétisé en un ensemble de particules/masses connectées entre elles par des ressorts

Masse associée à chacune des particules

Vecteurs position, vitesse et accélération associée à chacune des particules

Les objets modélisés peuvent être :

- des courbes (cheveux, cordes, etc.) → 1D
- des surfaces (textiles, surface de l'eau, etc.) → 2D
- des volumes (objet volumique visqueux) → 3D

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 81

81

Animation par modèles physiques – Choix du modèle physique

Formulation d'un système masses-ressorts

Système contient :

- p particules de masses m et de position x_i pour $1 \leq i \leq p$
- (p-1) ressorts

Particule i est connectée par deux ressorts aux points i-1 et i+1

Ressort_i

- relie les masses m_i et m_{i+1}
- avec une raideur $k_i > 0$
- et une longueur au repos l_i

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 82

82

Animation par modèles physiques – Choix du modèle physique

Equation du mouvement pour un système masses-ressorts

Soit \mathcal{A} = ensemble des indices j tels que m_i connectée à m_j

Soit F_i les forces externes appliquées à la masse i

Equation du mouvement de la particule i (PFD) :

$$m_i \ddot{x}_i = \text{somme des forces exercées sur } i$$

$$\Leftrightarrow m_i \ddot{x}_i = \sum_{j \in \mathcal{A}_i} k_{ij} (\|x_j - x_i\| - l_{ij}) + F_i$$

1. Obtention des accélérations des points au cours du temps
2. Intégration des accélérations pour obtenir les vitesses
3. Intégration des vitesses pour obtenir les positions

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 83

83

Animation par modèles physiques – Collisions

Gestion de plusieurs objets dans la scène

Souvent plusieurs objets en interaction dans la scène
→ collisions à traiter entre les objets en interaction

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 84

84

Animation par modèles physiques – Collisions

Exemple application pour le médical

Collisions à traiter entre différents objets : entre organes ou entre organe et objet chirurgical

Deux problèmes à résoudre :

- Détection des collisions dans la scène
- Traitement de ces collisions : réponse à donner

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 85

85

Animation par modèles physiques – Collisions

Détection des collisions

Plusieurs méthodes :

- Regarde s'il existe un plan partitionnant l'espace en 2 demi-espaces
 - l'un contient l'objet A et l'autre l'objet B : pas de collision
- Calcul de la distance entre les objets
 - si elle est inférieure ou égale à 0, il y a collision

Utilisation de structure de données permettant d'optimiser la détection
 → Objets sont encapsulés dans des boîtes
 → Détection des collisions entre ces volumes englobants

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 86

86

Animation par modèles physiques – Collisions

Différents types de collisions possibles

- Contact en collision :
 - objets qui rebondissent l'un sur l'autre (force d'impulsion)
- Contact établi :
 - glissement ou frottement entre les objets (force de contact)

⇒ Modification de la vitesse des objets pour répondre aux collisions
 Puis intégration de cette nouvelle vitesse dans la boucle d'animation

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 87

87

Etapas de bases pour créer des images virtuelles animées

- 1- **Modélisation géométrique** : représentation mathématique des objets virtuels
- 2- **Simulation / animation** : déformation et mouvement des objets virtuels
- 3- **Visualisation / rendu** : affichage des objets virtuels

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 88

88

Rendu / affichage du modèle

Textures

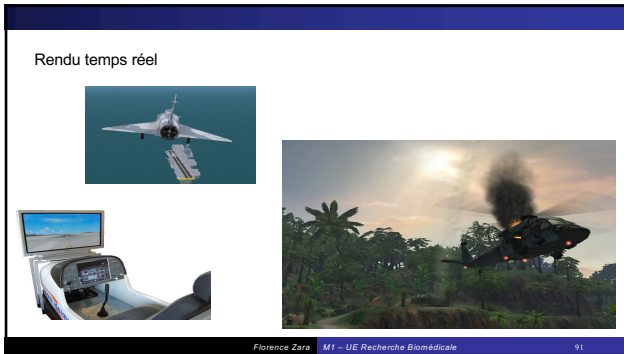
Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 89

89

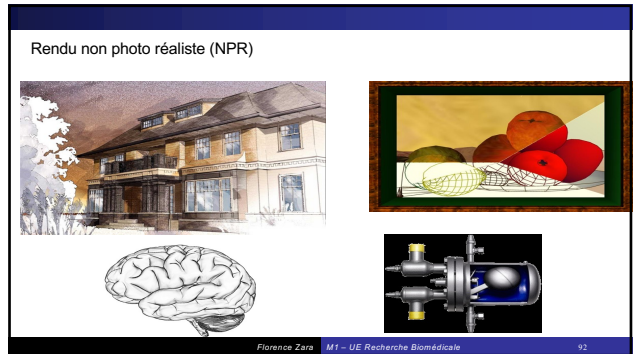
Rendu réaliste

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 90

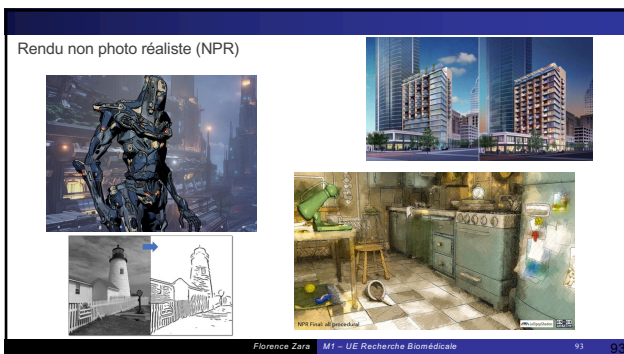
90



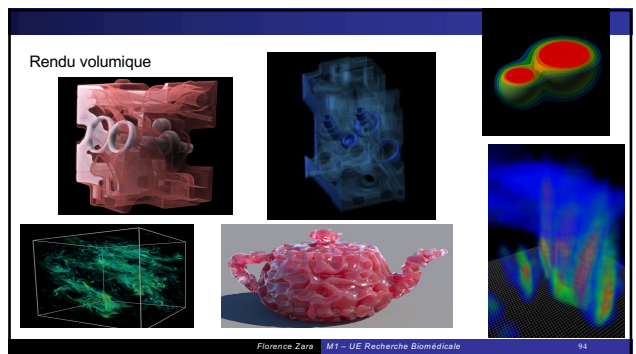
91



92



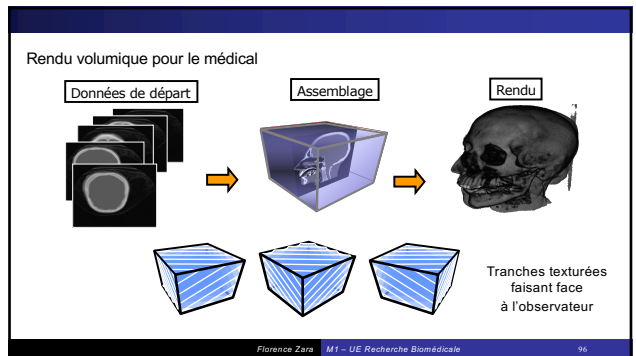
93



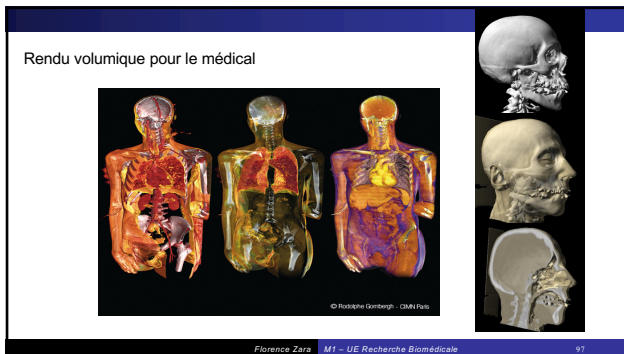
94



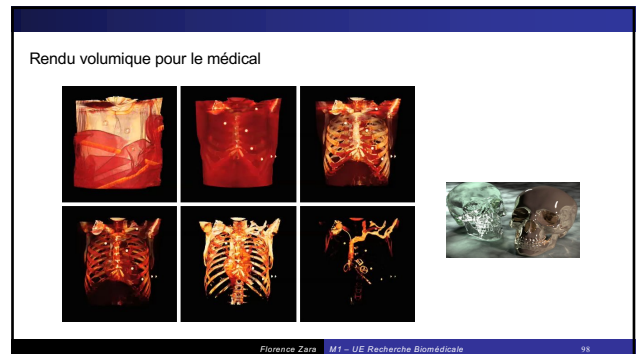
95



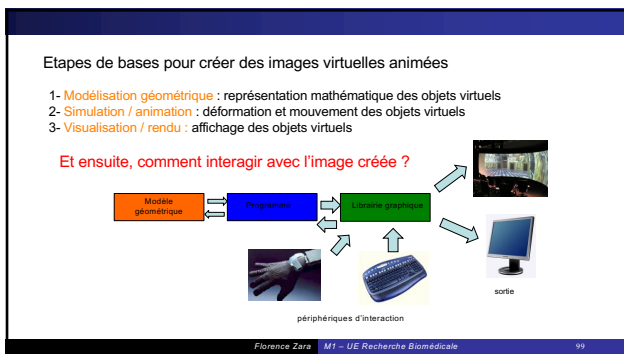
96



97



98



99



100



101



102

Écran remplacé par un autre dispositif de vision

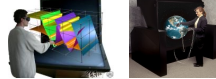


Visio plan ou Workbench

Premier workbench créé en 1993 au GMD (Allemagne)

Au lieu d'être immergé dans le monde virtuel, l'utilisateur le surplombe

- Couverture limitée du champ visuel
- Collaboration (limité en stéréoscopie)
- Position de travail approprié (opération chirurgicale virtuelle)

Encombrement et coût raisonnable

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 103

103

Écran remplacé par un autre dispositif de vision

Casque de Réalité Virtuelle




Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 104

104

Écran remplacé par un autre dispositif de vision

Et bien d'autres dispositifs...







Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 105

105

Objectif : interagir en restituant la sensation du toucher

Souris-clavier remplacés par un autre dispositif d'interaction : interfaces haptiques

Gants haptiques : forces appliquées sur les doigts suite à la manipulation des objets présent dans l'environnement virtuel




Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 106

106

Souris-clavier remplacés par un autre dispositif d'interaction : interfaces haptiques

Bras à retour d'efforts







6 DOF Della from Force Dimension

Phantom Omni - Sensable

6 DOF Phantom Premium 1.5


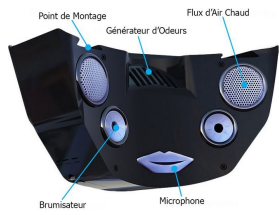
Falcom - Novint

Mantis - Mimic

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 107

107

Encore plus d'immersion : odeur

Point de Montage

Générateur d'Odeurs

Flux d'Air Chaud

Brumisateur

Microphone

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 108

108

Domaines d'applications de la RV - Divertissement

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 109

109

Domaines d'applications de la RV - Santé

Traitement de différentes pathologies

Apprentissage

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 110

110

Domaines d'applications de la RV - Aviation

Simulateurs d'apprentissage pour pilotage avion

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 111

111

Apport de la Réalité Virtuelle dans le monde médical

Conception de simulateurs pour l'apprentissage de gestes médicaux

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 112

112

Simulateurs pour l'apprentissage de gestes médicaux - Motivation

Apprendre et acquérir la dextérité nécessaire aux gestes médicaux-chirurgicaux sans risque pour le patient

« Jamais la première fois sur le patient »
Haute autorité de Santé (HAS), rapport 2012.

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 113

113

Simulateurs pour l'apprentissage de gestes médicaux - Motivation

Intérêt :

- Apprentissage sans risque pour le patient
- Entraînement avant une opération à risques (patient spécifique)
- Multiplier et cibler les situations rencontrées :
 - Gestes / pathologies / situations morphologies : usuels et rares
- Améliorer la connaissance et le raisonnement du geste
 - Pour mieux l'acquérir, le comprendre, se l'approprier

Plusieurs étapes à résoudre pour concevoir une telle application :

- Modèles géométriques
- Rendu moteur (animation et affichage)
- Interfaces haptiques
- Validation

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 114

114

Simulateurs pour l'apprentissage de gestes médicaux - Enjeux

Fournir à l'équipe médicale une interface la plus :

- Complète possible ; simple d'utilisation ; proche possible du terrain
- Pour assurer l'acceptabilité de l'outil par le corps médical

Avoir un coût compatible avec utilisation en milieu hospitalier

- Assurer la portabilité du dispositif proposé
- Implantation de salles complètes ou simulateur déplacé régulièrement

Assurer le réalisme du simulateur pour immerger équipe médicale

- Réalisme doit être en accord avec son apport pour la formation

Elaborer des scénarios pertinents et progressifs pour l'apprentissage

Evaluer l'apport pour l'apprentissage :

- Accélération de l'apprentissage ? / Qualité de l'apprentissage ?

Simulateur doit permettre d'apprendre le « vrai geste »

« Il faut apprendre à opérer un vrai patient et non pas à opérer sur le simulateur. »

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 115

115

Etapes de conception d'un simulateur d'apprentissage basé sur la RV

Logiciel didactique

Simulation numérique

Didactique | **Biomécanique et Informatique graphique**

Clinique | **Robotique**

Système haptique

- 1 - Analyser, comprendre le geste et son apprentissage
- 2 - Définir le cahier des charges du simulateur
- 3 - Elaborer des scénarios pertinents pour l'apprentissage
- 4 - Evaluer le simulateur

Données médicales, expertise & validation

Valider les composants du simulateur

Reproduire sensations tactiles du geste

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 116

116

Conception de simulateurs d'apprentissage basés sur la RV

maillage = représentation

simulation = calculs

rendu = affichage

interaction utilisateur = sensation tactile + déformation

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 117

117

Architecture du système de Réalité Virtuelle - Simulateur de biopsies de foies

Données

Segmentation

Données
Segmentation
Maillage surfacique
Maillage tétraédrique

Simulation 3D

Modèle 3D

Simulateur

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 118

118

Retour sur le processus de création d'images virtuelles en Informatique Graphique

Etapes de base de la conception d'un simulateur médical

Récupération de données de patient de type IRM, scanners, etc.
Segmentation de ces données par un médecin expert

- 1- **Modélisation**
Traitement des données pour obtenir une structure 3D
- 2- **Simulation / animation** des objets 3D
- 3- **Visualisation / rendu / affichage** des objets simulés
- 4- **Couplage avec des interfaces haptiques** (Réalité Virtuelle)

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 119

119

Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Objectif

Modélisation géométrique utilisée pour reproduire l'anatomie

Modèles géométriques issus des données scanner (CT Scan, ...)

Données peuvent être spécifiques à un patient

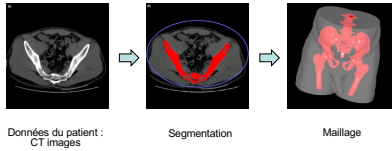
Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 120

120

Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Etapes pour passer des données du patient au modèle 3D

- Récupération des données du patient
 - scanner, IRM, etc.
- Segmentation des données par un médecin expert
- Génération du modèle 3D



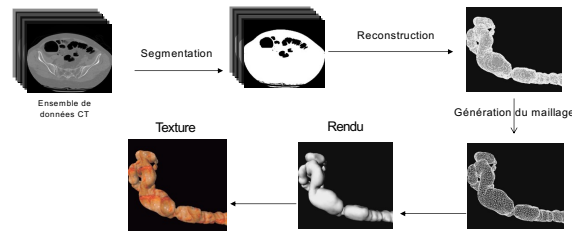
Données du patient : CT images Segmentation Maillage

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 121

121

Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Etapes pour passer des données du patient au modèle 3D



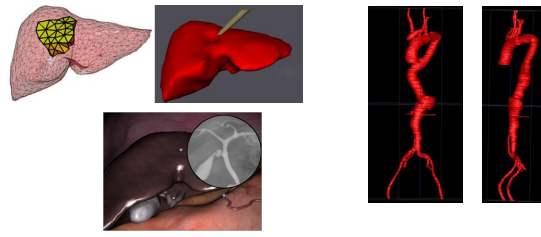
Ensemble de données CT Segmentation Reconstruction Génération du maillage Rendu Texture

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 122

122

Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Exemples

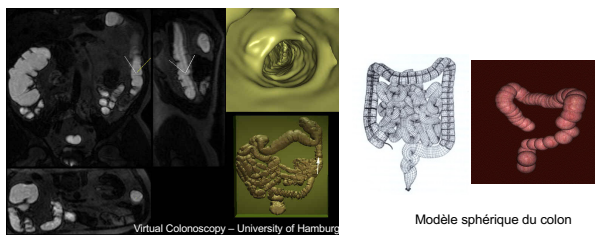


Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 123

123

Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Exemples



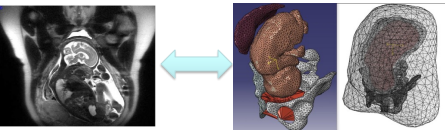
Virtual Colonoscopy - University of Hamburg Modèle sphérique du colon

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 124

124

Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Exemples



Modèle des organes impliqués dans un accouchement


Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 125

125

Simulateurs médicaux - Modèles géométriques

Exemples

Projet Merlion - Données issues de l'IRCAD (Strasbourg)
Réseaux vasculaires



Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 126

126

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques

Simulation physique

Objectif : reproduire le comportement des organes en interaction

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 127

127

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Caractéristiques des objets déformables

Caractéristique d'un objet déformable = **élasticité**
→ objet retourne à sa forme initiale après une déformation

Objet déformable caractérisé par le rapport entre la **contrainte** (stress) et la **déformation** (strain)

Contrainte = intensité de la force appliquée divisée par l'aire de la surface sur laquelle la force est exercée

⇒ contrainte = force / surface

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 128

128

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Principaux paramètres d'élasticité qui caractérisent les objets déformables

Différents types de déformation correspondant à différents paramètres

Elongation → module de Young, coefficient de Poisson
Cisaillement → module de cisaillement (Coulomb)
Compression → module de compressibilité (Bulk)

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 129

129

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Autres caractéristiques des objets déformables

Lois de comportement :

- linéaire
- plastique
- non-linéaire
- non-linéaire visco

Loi d'élasticité linéaire ou de Hooke :
contrainte (σ) = module de Young (E) x déformation (ϵ)

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 130

130

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Déformation de l'objet quantifiée par un **tenseur de déformations**

→ décrit l'état de déformation local résultant de contraintes (efforts internes)

→ matrice des allongements (termes diagonaux) et des cisaillements (termes non diagonaux) subis par l'objet

→ tenseur des déformations (ϵ) est relié au champ de contrainte (σ) par la **loi de comportement de l'objet** (Hooke, Néo-Hooke, Saint Venant Kirchoff, Yeoh, etc.)

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 131

131

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Relations de la Mécanique des Milieux Continus

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 132

132

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Tenseur de déformations de Green-Lagrange

Soit u le déplacement d'un point de l'objet par rapport à sa position d'origine

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\bar{\nabla}u_i + [\bar{\nabla}u]_i^j + [\bar{\nabla}u]_j^i)$$

Tenseur de déformations de Cauchy pour les petites déformations

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(\bar{\nabla}u_i + [\bar{\nabla}u]_i^j)$$

avec le gradient de u défini par :

$$\bar{\nabla}u = \begin{pmatrix} \frac{\partial u_x}{\partial x} & \frac{\partial u_x}{\partial y} & \frac{\partial u_x}{\partial z} \\ \frac{\partial u_y}{\partial x} & \frac{\partial u_y}{\partial y} & \frac{\partial u_y}{\partial z} \\ \frac{\partial u_z}{\partial x} & \frac{\partial u_z}{\partial y} & \frac{\partial u_z}{\partial z} \end{pmatrix}$$

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 133

133

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Tenseur de contraintes σ

- Définit la contrainte en un point à l'intérieur du matériau

$$\sigma = \begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix}$$

avec la traction $T = \sigma \cdot n \, dS$

normale surface

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 134

134

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Loi de comportement élastique linéaire (petite déformation / isotropique)

- **Loi de Hooke** $[\sigma] = 2\mu[\varepsilon] + \lambda Tr([\varepsilon])[I]$

Avec les coefficients de Lamé $\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}$ $\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$

E : module de Young – rigidité de l'objet (en Pa)
 ν : coefficient de Poisson - compressibilité de l'objet (< 0.5)

$$[\sigma] = \frac{E}{(1+\nu)}([\varepsilon] + \frac{\nu}{(1-2\nu)}Tr([\varepsilon])[I])$$

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 135

135

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Loi de comportement pour élasticité non-linéaire

- Difficile de trouver la relation entre contrainte et déformation

$$\sigma = \frac{\partial W(\varepsilon)}{\partial \varepsilon}$$

Energie de déformation

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 136

136

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Loi fondamentale de la dynamique s'écrit alors sous la forme

$$div([\sigma]) + f_{ext} = \rho \ddot{u}$$

ρ masse volumique
 f_{ext} forces volumiques appliquées au point
 $div(\sigma)$ les forces surfaciques

→ résolution de l'équation (système différentielle du second ordre) donne le déplacement u au cours du temps
 → obtention du mouvement de l'objet au cours du temps

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 137

137

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques - MMC

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 138

138

Simulateurs médicaux – Simulation par modèles physiques

Intégration de la simulation dans un simulateur d'apprentissage de gestes médicaux
=> simulation doit être en temps réel

Un certain nombre de simplifications à faire pour arriver au temps réel

- Simplification des modèles géométriques des organes
- Lois de comportement simples
- Modèles physiques adaptés
- Conditions aux limites
- Modèle de collision
- Parallélisation des algorithmes de simulation

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 139

139

Simulateurs médicaux – Simulation physique de la descente d'un fœtus

- Simplification of the meshes (less nodes)
- Simplification of the constitutive law of organs
- Pelvis: Hooke - $E = 23 \text{ Mpa}$, $\nu = 0.3$, $\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$
- Abdomen: Neo-Hooke - $C_{10} = 5 \text{ kPa}$, $\rho = 2\,500 \text{ kg/m}^3$
- Uterus: Neo-Hooke - $C_{10} = 30 \text{ kPa}$, $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$
- Fetus: Neo-Hooke
 - Skin: $C_{10} = 130 \text{ kPa}$, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$
 - Skull: $C_{10} = 75 \text{ kPa}$, $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$
 - Body: $C_{10} = 70 \text{ kPa}$, $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 140

140

Simulateurs médicaux – Simulation physique de la descente d'un fœtus

Put boundary conditions

- Mobile abdomen skin
- Fixe abdomen skin
- Fixed skull
- UC + ABD + diaphragm
- UC
- Ligament fixation between uterus/abdomen
- Fixation between organs

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 141

141

Simulateurs médicaux – Simulation physique

Interaction : gestion des collisions

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 142

142

Simulateurs médicaux - Interfaces haptiques

Bras Phantom pour la biopsie

VSP (Voxmap Pointshell) pour la réalisation d'un sondage

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 143

143

Simulateurs médicaux - Interfaces haptiques

Apprentissage pour la chirurgie dentaire (DIGISENS)

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 144

144

Simulateurs de gestes chirurgicaux – Traitement de la cataracte

<https://www.youtube.com/watch?v=UJYw1TZ4g>

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 151

151

Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 152

152

Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

Simulation de la descente du fœtus sans trajectoire imposée

Déformation de la tête fœtale due aux pressions intra-utérines et forceps

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 153

153

Simulateurs de gestes chirurgicaux – Usage des forceps pour extraction fœtus

Couplage : simulation numérique & dispositif haptique

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 154

154

Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

Difficulté de l'apprentissage d'un geste bi-manuelle

Enjeux du simulateur :

- Reproduire le comportement de l'aiguille (pénétration dans les organes)
- Reproduire le comportement de la sonde et de son rendu
- Reproduire les sensations tactiles durant le geste de ponction
- Évaluer le geste

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 155

155

Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

Modèles 3D

Rendu de type échographie

Déformation : aiguille et sonde

Florence Zara M1 – UE Recherche Biomédicale 156

156

Apprentissage du geste de la ponction guidée par échographie

Couplage : simulation numérique & dispositif haptique

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 157

157

Un long processus de développement...

Pour obtenir un simulateur améliorant l'apprentissage des gestes

Première validation :
Simulation & haptique

Seconde validation :
Intégration des scénarii pertinents pour l'apprentissage
Le simulateur doit pouvoir reproduire ces scénarii
Gestion de situations usuelles & rares : morphologie, pathologie, geste à réaliser

Troisième validation :
Campagne de tests avec les praticiens
Evaluation de l'apport du simulateur pour l'apprentissage

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 158

158

Allons plus loin : vers des simulateurs patient spécifique

Encore plus de verrous scientifiques et techniques à lever pour la simulation :

- Récupérer les **données** directement **auprès du patient** (IRM, paramètres biomécaniques)
- Nécessiter d'**automatiser** tout le pipeline permettant de **générer les modèles 3D**
- Nécessiter d'avoir des **simulations plus précises**
- Avec une **validation robuste!**

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 159

159

En bilan

Collaboration multidisciplinaire indispensable pour réaliser de tels simulateurs

Travail avec le corps médical tout au long de la conception

Difficultés et limites :
Simulateur doit permettre de reproduire et apprendre le vrai geste
Validation complexe (simulation & haptique)

Intérêts escomptés :
Accélération de l'apprentissage
Amélioration des connaissances au niveau physiologique
Mise en place de nouvelles méthodes d'évaluation du geste
Mise en place de nouvelles techniques / nouveaux gestes

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 160

160

Conclusion

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 161

161

Informatique Graphique, RV et applications médicales

Informatique Graphique

- Processus complet de création d'images virtuelles animées
 - Modélisation, animation, rendu

Réalité Virtuelle

- Outils pour ajouter du réalisme à la scène virtuelle, pour interagir avec la scène virtuelle

Utilisation de ces technologies pour le monde médicale

- Apprentissage de gestes médicaux-chirurgicaux
- Compréhension des comportements
- Entraînement avant opérations délicates
- Tester de nouvelles méthodes / gestes ?

Florence Zara M1 - UE Recherche Biomédicale 162

162



Informatique Graphique, Réalité Virtuelle
et Applications médicales

Florence Zara

Université Claude Bernard Lyon 1

