



## INTRODUCTION À L'IMAGE

Alexandre Meyer  
Equipe SAARA, Laboratoire LIRIS  
Université Lyon 1

## INTRODUCTION À L'IMAGE

VISION PAR ORDINATEUR / COMPUTER VISION  
SYNTHÈSE D'IMAGES / COMPUTER GRAPHIC  
APPLICATIONS

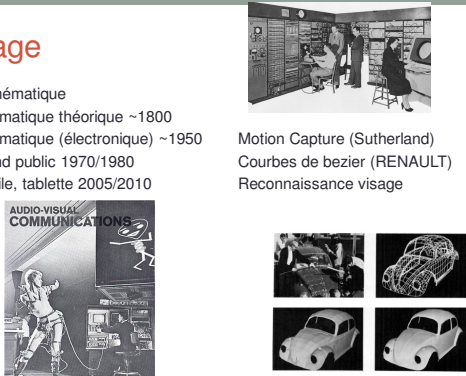
Monde réel ↔ Monde de synthèse Informatique




## Image

- Mathématique
- Informatique théorique ~1800
- Informatique (électronique) ~1950
- Grand public 1970/1980
- Mobile, tablette 2005/2010

Motion Capture (Sutherland)  
Courbes de bezier (RENAULT)  
Reconnaissance visage



## Image



## Images et informatique

Utiliser l'ordinateur pour interpréter ou générer des images

- Motivations
  - images = source d'informations extrêmement importante
  - Efficaces pour communiquer des idées complexes

Ce transparent n'a pas d'image, pas de schéma  
→ ON NE COMPREND RIEN  
→ ON S'ENNUIE !!!

## Images et informatique

- Ne pas confondre le peintre et le pinceau



- Nous travaillons à la fabrication ... d'un pinceau complexe et évolué
  - Programme informatique
  - Algorithme
  - ...
- pour les utilisateurs
  - Artistes
  - Médecins
  - Architecte
  - ...

### Images et informatique

- Synthèse d'images (Computer Graphics)
  - Modélisation
  - Rendu
  - Animation
- Vision par ordinateur (Computer Vision)
  - Traitement d'images (Image Processing)
  - Reconnaissance des formes (Pattern Recognition)
  - Vision par ordinateur
- Mélange des 2 : Réalité Augmentée (Augmented Reality)

## VISION PAR ORDINATEUR

### Vision par ordinateur

### Vision par ordinateur et vision humaine

Nature  $\neq$  inspire l' Artificiel

Human eye  $\neq$  Computer vision output

### Vision par ordinateur et vision humaine

- Vision par ordinateur reste limitée

26x27 pixels

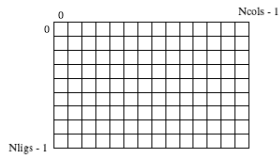
### Vision par ordinateur et vision humaine

- Vision par ordinateur reste limitée
- Pour l'instant

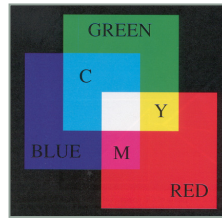


## Image : informatique

- Image = tableau 2D de pixels
  - nombre de lignes,
  - nombre de colonnes,
  - format des pixels (bit, niveaux de gris, niveaux de couleurs)
  - compression éventuelle.



## Système de couleur RGB



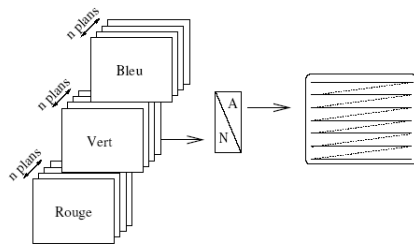
R	G	B	Color
0.0	0.0	0.0	Black
1.0	0.0	0.0	Red
0.0	1.0	0.0	Green
0.0	0.0	1.0	Blue
1.0	1.0	0.0	Yellow
1.0	0.0	1.0	Magenta
0.0	1.0	1.0	Cyan
1.0	1.0	1.0	White
0.5	0.0	0.0	?
1.0	0.5	0.5	?
1.0	0.5	0.0	?
0.5	0.3	0.1	?

Colors are additive

Il y a d'autres systèmes de représentation des couleurs



## Ecran couleur



Écrans true color. Le nombre de couleurs possibles est de  $2^n \times 2^n \times 2^n$ .

## Image

- Noir et blanc

```
P1
# NetB.pbm
12 7
000100000000
000110000000
000100100100
000100000100
000001000100
010000000100
000100000100
```

## Image

- Niveaux de gris

```
P2
# feep.pgm
24 7
15
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 3 3 3 3 0 0 7 7 7 7 0 0 11 11 11 0 0 15 15 15 15 0
0 3 0 0 0 0 0 7 0 0 0 0 0 11 0 0 0 0 15 0 0 15 0
0 3 3 3 0 0 0 7 7 7 0 0 0 11 11 11 0 0 15 15 15 15 0
0 3 0 0 0 0 0 7 0 0 0 0 0 11 0 0 0 0 15 0 0 0 0
0 3 0 0 0 0 0 7 7 7 7 0 0 11 11 11 0 0 15 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Fichier PGM d'une image 24x7. Les valeurs d'intensité codées en ASCII sont au maximum de 15

## Image

- RGB par pixel

```
P3
# feep.ppm
4 4
15
0 0 0 0 0 0 0 0 15 0 15
0 0 0 15 7 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 15 7 0 0 0
15 0 15 0 0 0 0 0 0 0 0
```

### Image : les formats

- Compression sans perte
  - Image ré-ouverte identique à l'originale
  - GIF, PNG, etc.
- JPEG (Joint Photographic Experts Group)
  - Compression de la luminance et de la teinte par DCT (discrete cosine transform).
  - Affichage d'une image de manière progressive possible
  - Image courante 3500x2500 = 3.82 Mo compressé en JPEG
- La plus grande image du monde
  - **320 gigapixels !**
  - rassemble 48 620 images différentes en panoramique 360°
  - nécessité 200 heures de calculs pour l'assemblage numérique, 4 Canon EOS 7D équipés de 4 objectifs 400 mm f/2,8
  - 3 téraoctets de données

• <http://btlondon2012.co.uk/pano.html>

### Image : exemples de compression

100% fidelity	90%	10%	1%
Image is 725kB	250kB	37kB	20kB
<b>JPG IS ONLY FC. JPG IS ONLY FC. JPG IS ONLY FC. JPG IS ONLY FC</b>			
The problem wit The problem wit The problem wit The problem wit			
JPG algorithm n JPEG algorithm n JPEG algorithm n JPEG algorithm n			

### Video = sequence d'images

- Ecran
  - 4K = 3 840 x 2 160 soit 8,3 Mpx
- Vidéo
  - Séquence d'images avec de la compression
  - MPEG, etc.

MPEG video Compression

### Algorithme 2D sur les images

- Années 1970/80
- Tracer de droite, cercle, etc.
  - Bresenham
- Remplissage (flood fill)
- Etc.

```

d ← 0, y ← y1
For s ← x1 to x2 do
  Plot point at (s, y)
  IF ( 2(d + Δy) < Δx )
    d ← d + Δy
  Else
    y ← y + 1, d ← d + Δy - Δx
  EndIf
EndFor
    
```

## VISION PAR ORDINATEUR

### Traitement d'images

### Introduction

- Le traitement d'images consiste à effectuer des traitements sur une image en vue de modifier son contenu (généralement pour « l'améliorer ») et/ou de quantifier certains éléments (calcul numérique, détection d'objets, ...).

can be u  
re 3-4 sl  
: filtering

débruitage

can be u  
re 3-4 sl  
: filtering

segmentation

- Différentes stratégies peuvent être utilisées pour parvenir à ses fins...

### Ajuster la brillance

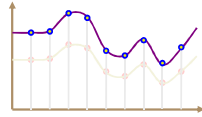
- Simplement multiplier la valeur du pixel
  - Doit rester entre 0 et 255



Original



Brighter



### Ajuster le contraste

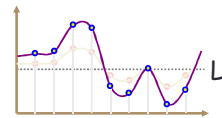
- Calcul la luminance moyenne  $L$  de tous les pixels
  - $\text{luminance} = 0.30*r + 0.59*g + 0.11*b$
- Changement d'échelle (Scale deviation) de  $L$  pour chaque pixel
  - Doit être "clamped" entre 0 et 1



Original

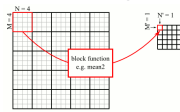


More Contrast



### Agrandir ou réduire l'image

- Ré échantillonnage (théorie math ...)



Original



1/4 x resolution



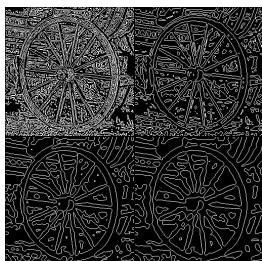
4 x resolution

### Détection de motifs

- Qu'est-ce qui est important dans cette image ?



### Détection des arêtes



Qu'est-ce qu'une arête/"edge"?

Endroit où l'image "change" brusquement

Comment les trouver ?

### Un détecteur d'arête : idée simple

$$A[i,j] <= 5 A[i, j] - A[i+1, j] - A[i-1, j] - A[i, j+1] - A[i, j-1]$$

Pixel courant = pixel courant - la moyenne des pixels autour



- L'oeil humain fait une sorte de détecteur d'arêtes
- Arête est une information de très bas niveau
- Des détecteur d'arêtes peuvent se faire en utilisant des filtres

### Filtres

Image d'origine

P1	P2	P3
P4	P5	P6
P7	P8	P9

Matrice de convolution d'un Passe-bas

1	2	1
2	4	2
1	2	1

Image Finale

Image d'origine

P1	P2	P3
P4	P5	P6
P7	P8	P9

Matrice de convolution d'un Passe-Haut


-1	-2	-1
-2	16	-2
-1	-2	-1

Image Finale

### Filtre : détecteur d'arêtes




### Filtre Gaussien : Blurring




original

coefficient



Pixel offset



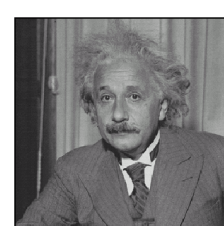
Blurred (filter applied in both dimensions).

F

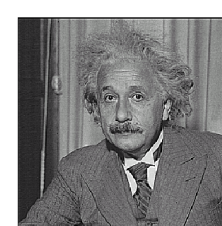
1	1	1
1	1	1
1	1	1

1/9

### Sharpening




before

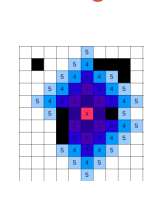



after

### Segmentation d'images



Quelles sont les regions de cette image ?






Des centaines d'idées et d'algo différents existent. Toujours pas résolu parfaitement

### Segmentation d'images

- Le zèbre ☹
  - La nature l'a fait évoluer pour se dissimuler
  - Le plus dur pour les algo de vision


### Physique de la lumière

- Souvent les algo de vision
  - Besoin de connaître la réalité du monde
  - Physique de la lumière
    - Type de lumière
    - Reflectance de la surface
    - Etc.
  - Faire des suppositions et des simplifications

### Vision de haut niveau : reconnaissance

Qu'est-ce que vous voyez dans cette image ?

Tâche extrêmement difficile : le tigre doit être reconnu sous tous les angles, parfois cache, avec des éclairages différents sur chaque photo.

→ Test de Turing sur l'« intelligence artificielle »

## VISION PAR ORDINATEUR

Domaines et applications

### Vision par ordinateur : des exemples

Tracking = suivre un objet dans une vidéo pour par exemple la surveillance

### Vision par ordinateur : des exemples


- Reconnaissance d'écriture
  - La Poste : codes postaux sur enveloppe
  - Puis écriture sur tablette

### Reconnaissance de visages

- L'apprentissage automatique
  - A partir d'une banque d'exemple, l'ordinateur apprend à classer différents éléments.
- Ex : Reconnaissance de visages



### Vision par ordinateur : des exemples



- Classification
  - Historique vision humaine : repérer un prédateur ou un membre de sa famille rapidement
  - Concours IMAGENET → mettre un label sur une image
    - 14 millions d'images avec 20000 labels

ImageNet Classification top-5 error (%)

Year / Competition	Top-5 Error (%)
ILSVRC 2010 NEC America	28.2
ILSVRC 2011 Xerox	25.8
ILSVRC 2012 AlexNet	16.4
ILSVRC 2013 Clarifai	11.7
ILSVRC 2014 VGG	7.3
ILSVRC 2014	6.7
ILSVRC 2015 ResNet	3.5

### Semantique et image

+ VIDEO

- Deep Learning
- Segmenter et mettre des labels sur une image



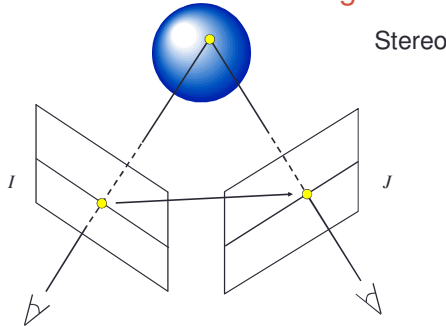
### Capture de mouvement

- Motion Capture pour produire une animation



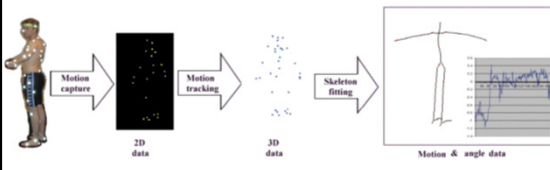
### Reconstruction 3D : triangulation

Stereo

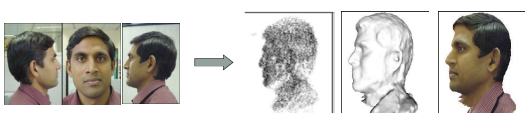



### Capture de mouvement

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

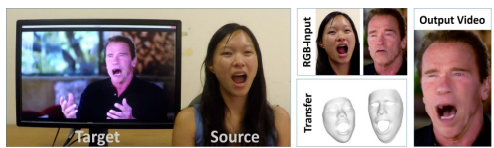


### Reconstruction 3D





## Capture de visage

- Face2Face: Real-time Face Capture and Reenactment of RGB Videos



**+ VIDEO**



## SYNTHÈSE D'IMAGES COMPUTER GRAPHIC

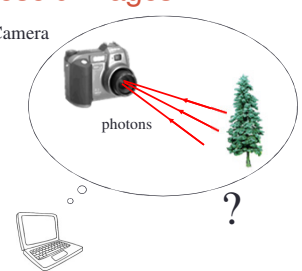
Comment calculer une image de synthèse = Rendu

- Lancer de rayons
- Pipeline du rendu projectif

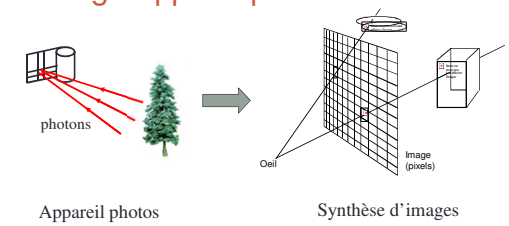


## Synthèse d'images

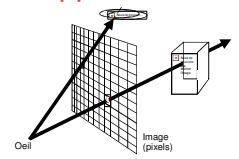
1. Camera



## Analogie appareil photo et SI



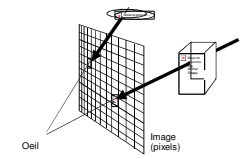
## 2 approches duales en SI



Des rayons sont lancés depuis l'œil vers la scène en passant par un pixel

**Ray-tracing**

- Image réaliste
- Lent



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

**Rendu projectif** (cablé sur les cartes graphiques modernes -> temps réel)

## Processus

- Les différentes phases de la synthèse d'une image
  - Modélisation
    - représentation mathématique des objets de la scène.
  - Gestion du modèle, animation
    - ce qui doit être vu et comment cela doit apparaître.
  - Production d'une image
    - rendu à partir de la description du modèle.
- Les éléments d'un modèle
  - des primitives : points, lignes, polygones 2D et 3D, polyèdres et surfaces.
  - des attributs : styles, couleurs, textures.
  - des relations de connexités entre les composants du modèle.
  - ...

### Rendu projectif : PIPELINE

Plan image

oeil

A

Ap

Pipeline

1. Clipping des polygones en 3D suivant la pyramide de vue
2. Projection des points sur le plan image
3. Remplissage des triangles (Rasterizing) dans l'image
  - a. Suppression des parties cachées : Z-Buffer
  - b. Calcul de la couleur : illumination

Fil de fer

Faces cachées (objet)

Rendu Gouraud

Rendu Phong

Texture

Historique

### Maillages polygonaux

Les maillages polygonaux sont la représentation la plus commune

### Texture

For each triangle in the model establish a corresponding region in the phototexture

Un artiste peut créer une texture et paramétrer son modèle à la main

### Exemple d'un terrain

- Représentation d'un terrain
  - Carte de hauteur (niveau de gris)
  - Texture pour la couleur
  - Triangulation de la carte de hauteur

### Les billboards pour les arbres

- 1 quad toujours tourné face à la caméra
- Ou simplement en croiser 2 (en TP)

(0,1)

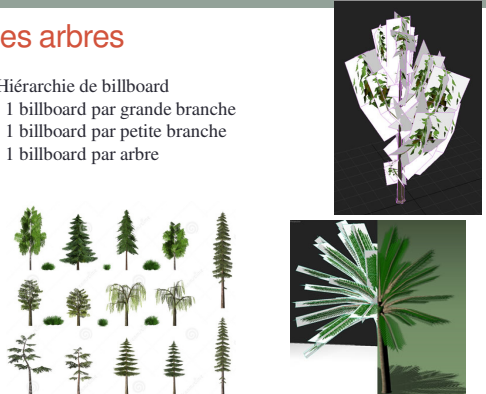
(1,1)

(1,0)

(0,0)

### Les arbres



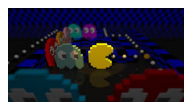
Hierarchie de billboard  
 1 billboard par grande branche  
 1 billboard par petite branche  
 1 billboard par arbre



### Paysage


Règles biologique pour la génération

- du terrain
- des arbres
- du paysage

### SYNTHESE D'IMAGES

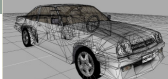
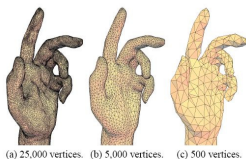

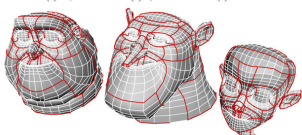
Différents domaines



### Modélisation géométrique

Geometry processing = génération et traitement d'un maillage



- Compression
- Numérisation 3D
- Correction d'erreur
- Triangulation
- Simplification

### Modélisation géométrique


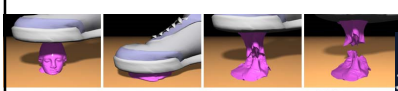

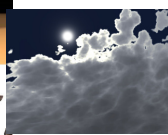
- Déformation de maillage
  - Skinning = déformation d'un maillage suivant un squelette
- Sculpture virtuelle
- ...

**+ VIDEO**

### Simulation physique

- Phénomènes naturels
- Simulation physique
  - $F = m \cdot a$
  - Equation de Navier-Stokes pour les fluides
  - Etc.

### Rendu réaliste

• Illumination globale,  
plusieurs minutes de calcul

### Rendu temps réel

- Application interactive
  - Jeux vidéo
  - Simulateur

### Rendu non photo réaliste (NPR)

### Animation

- Animation de personnage
  - Capture de mouvement
- Animation de visage
- Animation physique

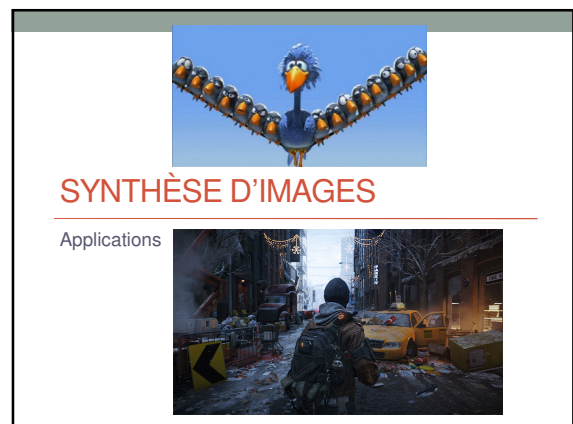
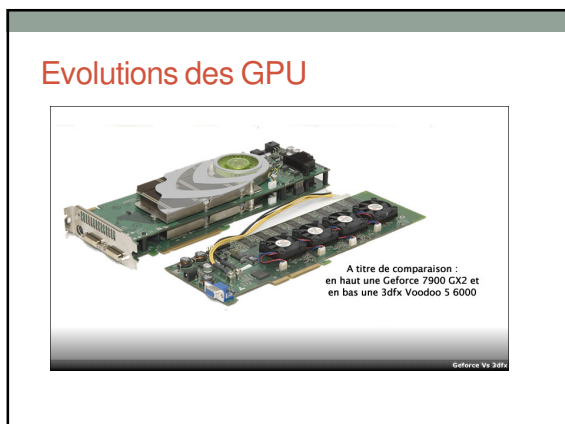
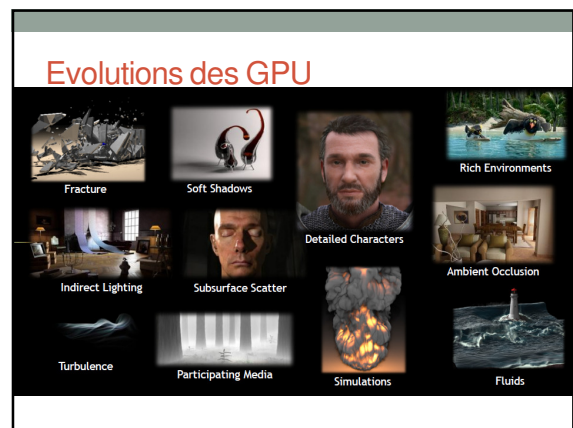
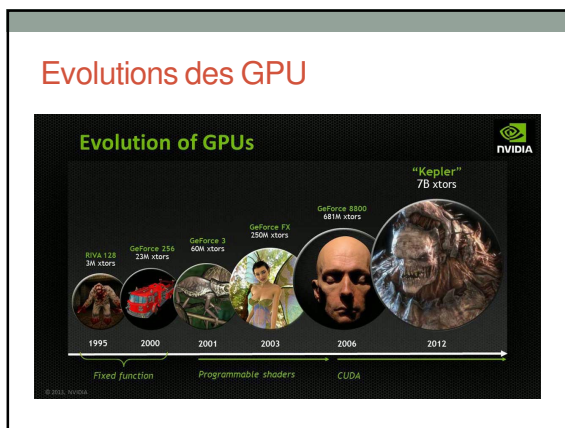
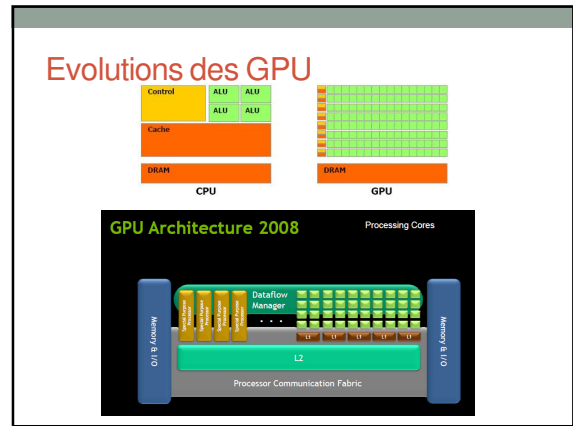
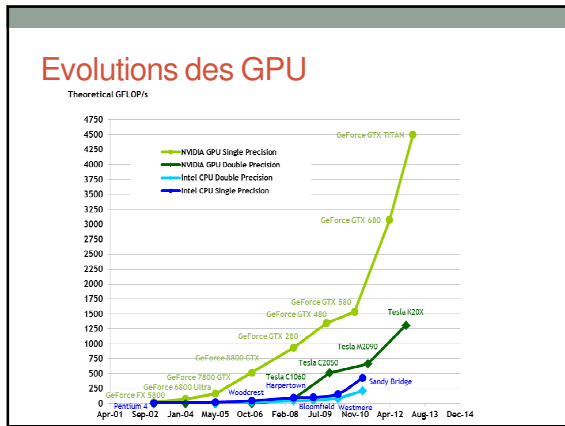
### Imagerie médicale

- Données issues de scanner,  
échographie, etc.

### GPU

---

NVIDIA  
ATI  
INTEL



1. Informatique Graphique  
3. Applications pour le médical

### Domaines d'applications - Jeu vidéos



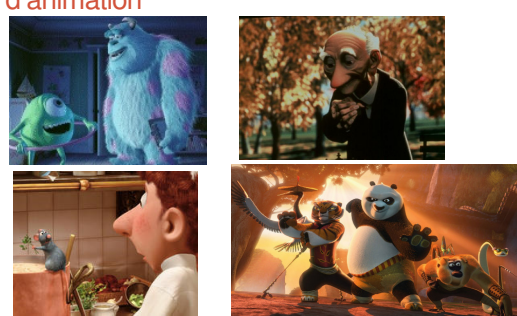
Jeu de tir - Medal of honor 3 et 4

Tomb Raider

Les lapins crétins

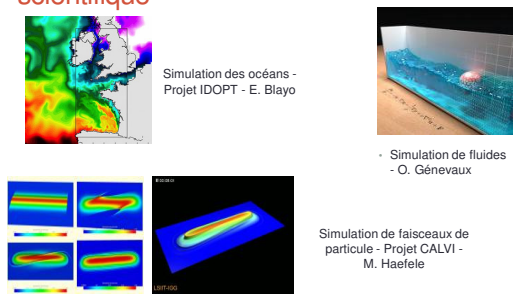
1. Informatique Graphique  
3. Applications pour le médical

### Domaines d'applications - Films d'animation



1. Informatique Graphique  
3. Applications pour le médical

### Domaines d'applications - Simulation scientifique



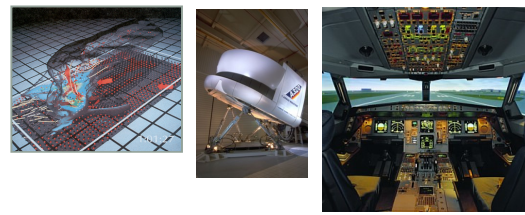
Simulation des océans - Projet IDOPT - E. Blayo

Simulation de fluides - O. Gènevaux

Simulation de faisceaux de particule - Projet CALVI - M. Haeefe

1. Informatique Graphique  
3. Applications pour le médical

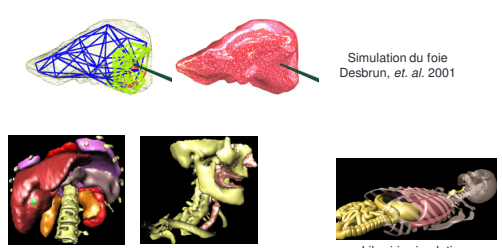
### Domaines d'applications - Simulateurs



Simulateur de vol - Airbus

1. Informatique Graphique  
3. Applications pour le médical

### Domaines d'applications - Applications médicales

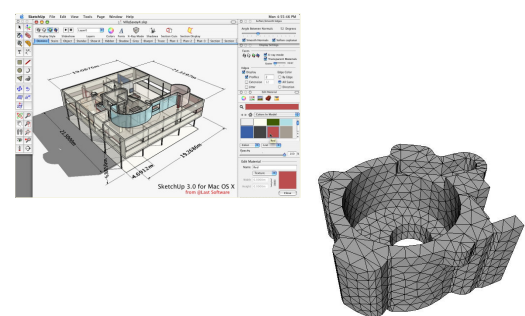


Simulation du foie Desbrun, et. al. 2001

Visualisation de données médicales IRCAD - Strasbourg

Librairie simulation dédiée aux applications médicales - SOFA

### Architecture / CAO



# REALITÉ VIRTUELLE

## Réalité Virtuelle - Dispositif matériel

Visualisation - Mur d'images

- Plusieurs vidéo projecteurs sont associés pour former un mur de projection
  - Haute résolution
  - Collaboration
  - Travail à l'échelle 1
- Mais...
  - Couverture incomplète du champ visuel
  - Coût élevé



## Réalité Virtuelle - Dispositif matériel

Visualisation - Visio Cube ou CAVE

- Immersion visuelle complète
  - Stéréoscopie masque structure cubique à l'utilisateur
  - Travail à l'échelle 1
  - Possibilité d'introduire des maquettes réelles




## Réalité Virtuelle - Dispositif matériel

Visualisation - Casque ou Head Mounted Displays (HMD)

- Utilisateur porte écran près de ses yeux




**+ VIDEO**

2. Dispositif matériel

3. Applications pour le médical

## Réalité Virtuelle - Dispositif matériel

Systèmes haptiques - Gants

Forces appliquées sur les doigts suite à la manipulation des objets présent dans l'environnement virtuel



2. Dispositif matériel

3. Applications pour le médical

## Réalité Virtuelle - Dispositif matériel

Systèmes haptiques - Bras à retour d'efforts



Phantom Omni - Sensable



6 DOF Phantom Premium 1.5



Falcom - Novint

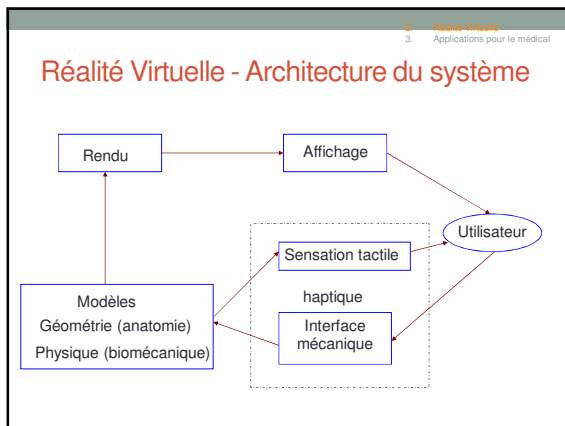


Mantis - Mimic



6 DOF Delta from Force Dimension





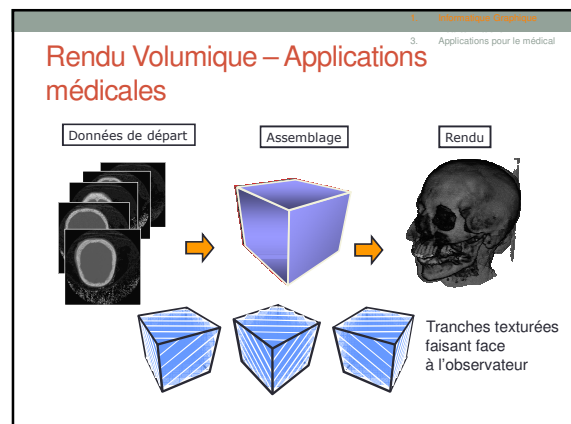
- ### Conclusion (avril 2016)
- Jeux vidéo et films d'animation ont démocratisés la synthèse au grand public (début 2000)
    - Ubisoft, etc.
    - Pixar, DreamWorks
  - GPU ont fait et font avancer les capacités de calculs
    - NVIDIA, ATI
  - Les grands industriels font avancer la recherche
    - Actuellement Google et Facebook s'affronte sur la réalité virtuelle à coup de rachat de startups du domaine
    - Algo de Deep learning font faire un bon à la vision par ordinateur
      - NVIDIA, Google (DeepMind), Facebook, Microsoft, etc.
    - La Robotique arrive ... avec tous les problèmes de vision et d'animation que cela comporte

# BONUS

---

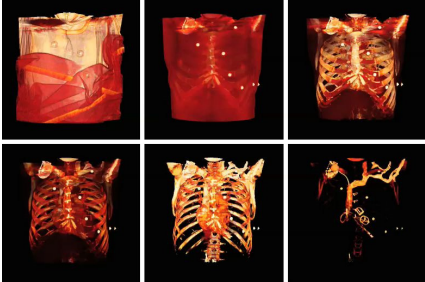
## UN EXEMPLE D'APPLICATION MÉDICALE : RENDU VOLUMIQUE

---



1. Information Graphique  
3. Applications pour le médical

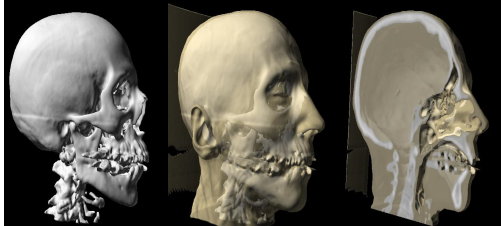
### Rendu Volumique - Illustrations



Kieran Maher

1. Information Graphique  
3. Applications pour le médical


### Rendu Volumique - Illustrations



Images issues du cours DEA IVR  
Nicolas Holzschuh

1. Information Graphique  
3. Applications pour le médical

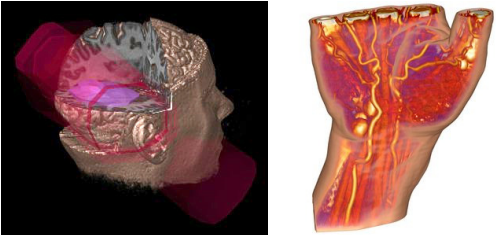
### Rendu Volumique - Illustrations



Images issues du cours DEA IVR  
Nicolas Holzschuh

1. Information Graphique  
3. Applications pour le médical

### Rendu Volumique - Illustrations



Levoy  
Bruckner