

# 4ETI Synthèse d'images Rendu volumique

CPE Lyon  
damien.rohmer@cpe.fr

2013

- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

## Introduction

Visualization is any technique for creating images, diagrams or animations to *communicate a message*.

Visualisation de données scientifiques :

- Abstraites (...)
- Physique theorique (fluides, ...)
- Medicales (Rayons X, IRM, Imagerie, ...)
- Techniques (Pieces mécaniques ...)
- ...

## Problématique

- Données complexes : non visualisables directement (tenseurs, densités, ...)
- Données nombreuses : 10,100 Gb (paysages, scanners, ...)
- Données bruitées (médical, ...)

**But** : Arriver à visualiser ce qui est **significatif**, de manière **utile**, **rapidement**.

Rendu volumique

- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

Rendu volumique

## Quels type de données

### Types de données variés

- champ scalaire (température, pression, ...)
- champ vectoriel (vitesse, orientation, ...)
- champ tensoriel (contraintes mécaniques, courbure, ...)

Définit on les données sur une surface, un volume ?

Rendu volumique

## Champ scalaire

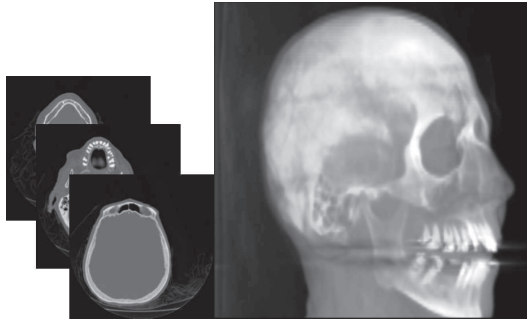
Surface du domaine ou caracteristiques internes



Rendu volumique

## Champ scalaire

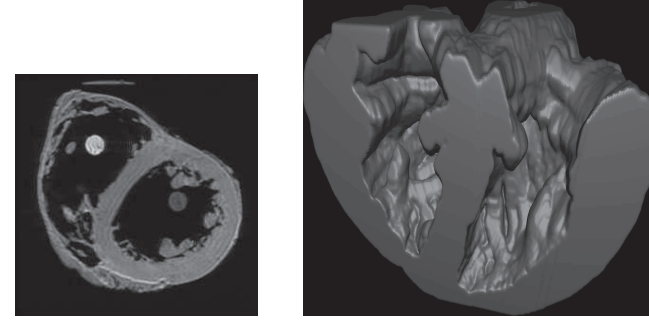
Section 2D ou vue volumique (isosurfaces, textures volumiques, ...)



Rendu volumique

## Champ scalaire

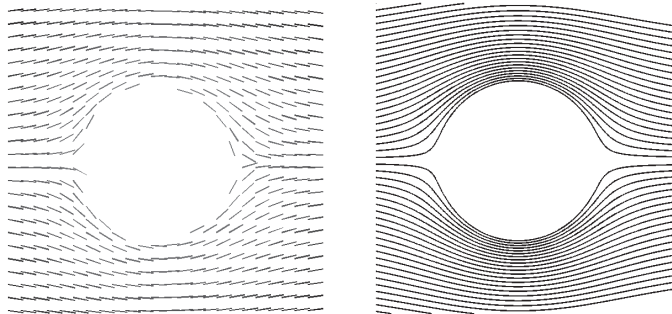
Section 2D ou isosurfaces 3D



Rendu volumique

## Champ Vectoriel

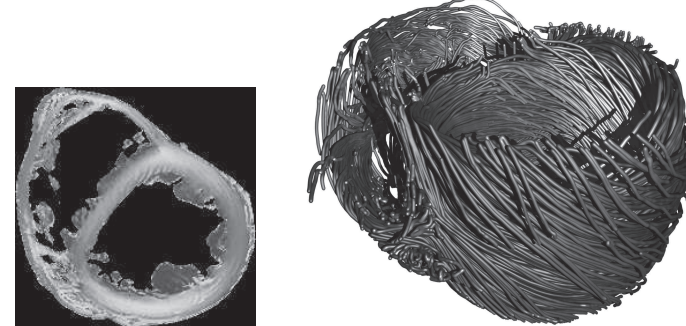
Vecteurs ou Trajectoires



Rendu volumique

## Champ Vectoriel

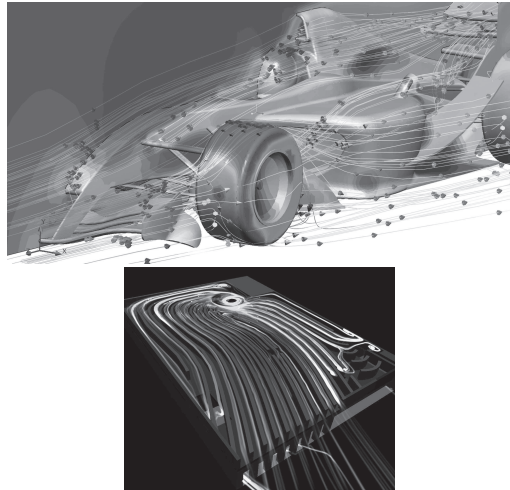
Vecteurs ou Trajectoires (les lignes de flux peuvent etre un objet reel)



Rendu volumique

## Champ Vectoriel

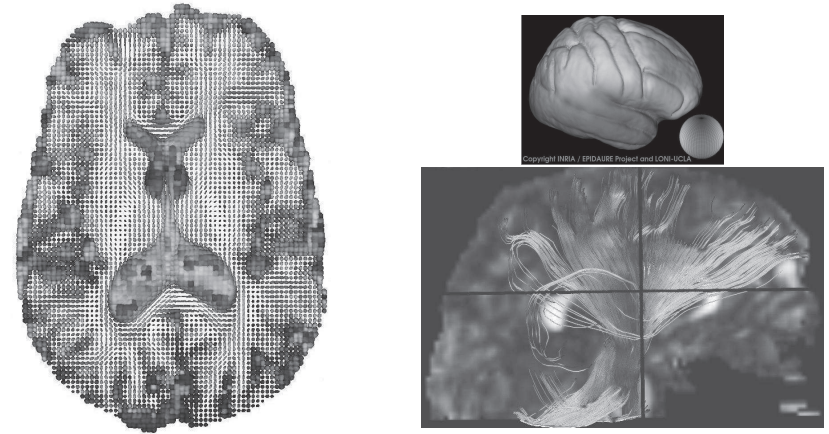
Simulations physiques complexes (streamlines, hyperstreamlines, ...)



Rendu volumique

## Champ Tensoriel

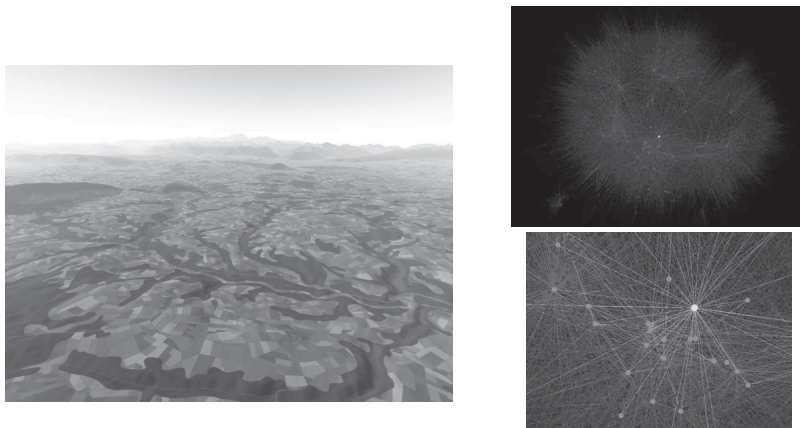
Matrices symétriques  $3 \times 3$ . (Ellipsoïds, glyphs, orientation, fiber-tracking, ...)



Rendu volumique

## Grand ensemble de Données

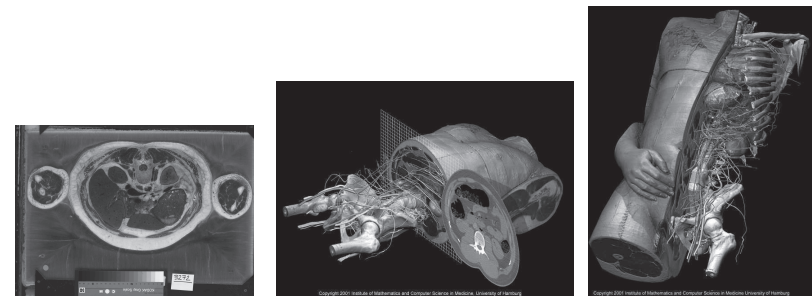
Les données physiques acquises sont souvent trop nombreuses !  
(Cartographies, Réseaux, ...)



Rendu volumique

## Grand ensembles de Données

Visible Human Project 40GB (0.33mm)



Rendu volumique

- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

## Classification

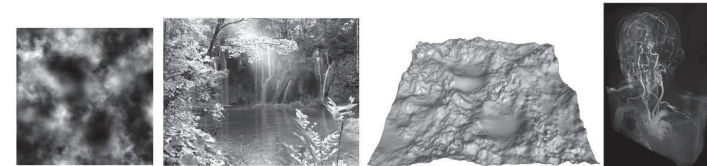
On visualise  $f : \begin{cases} \mathbb{R}^v \rightarrow \mathbb{R}^d \text{ plongé dans } \mathbb{R}^n \\ u \mapsto f(u) \end{cases}$

$d = 1$  champ scalaire  
 $d > 1$  champ vectoriel  
 $d = (i \times j)$  champ matriciel

$v = 1$  champ linéique  
 $v = 2$  champ surfacique  
 $v = 3$  champ volumique

### ■ Cas particuliers fréquents

v	d	n	
2	1	2	Image n&b
2	3	2	Image couleur (texture)
2	1	3	Height-field (montagne)
3	1	3	Densité volumique

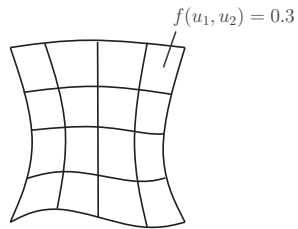


- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

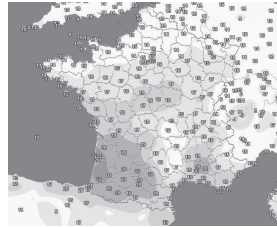


## Notations

- Dans le cas de densités, on a :  $f(u_1, u_2) = l \in \mathbb{R}$ .
- Le plus généralement :  $f(x, y) = l$ .
- En discret :  $f(k_x \Delta x, k_y \Delta y) = l_{k_x, k_y}$ .

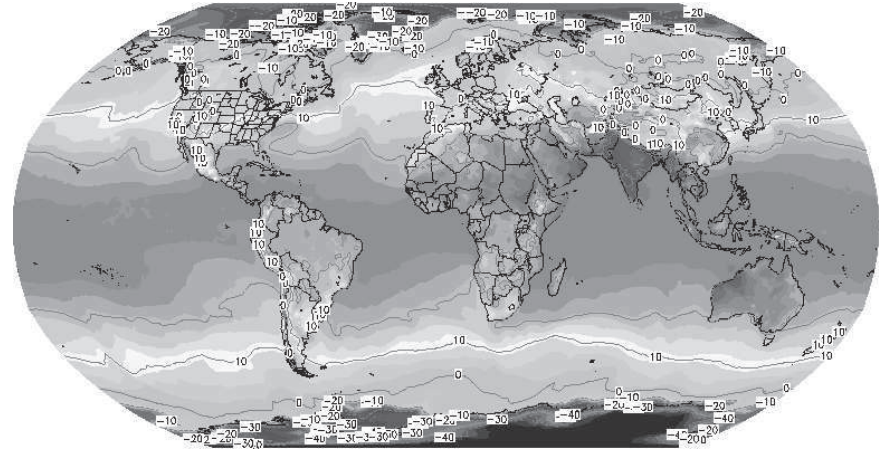


0.5	-0.2	1.1
1.5	0.5	0.9
-0.1	0.0	0.7



Rendu volumique

## Exemples



Rendu volumique

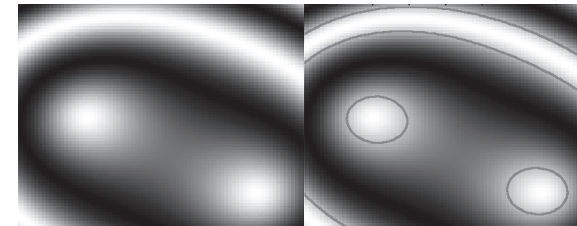
## Exemples



Rendu volumique

## But

- Visualiser les isolignes
- Tracer les courbes se plaçant sur une valeur donnée
- dénomination : isolignes, iso/equi-potential, courbe de niveau, ...



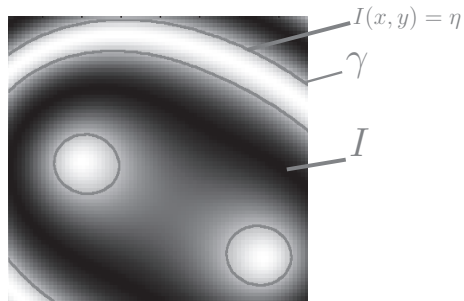
Rendu volumique

## Entré - sortie

- Entré : Densité / 2D sur une grille discrète + isovaleur  $\eta$
- Sortie : Ensemble de courbes

$$\{\gamma = (x, y) \in \mathbb{R}^2 \mid I(x, y) = \eta\}$$

(cas dégénérés : points, régions)



Rendu volumique

### 1 Introduction

- Visualisation
- Exemples de visualisations
- Classification

### 2 Donnees scalaires surfaciques

- Introduction
- Marching-square

### 3 Donnees scalaires volumiques

- Introduction
- Slicing
- Marching-cube
- Ray-Casting

Rendu volumique

## Exemples - cas continu

Pour  $\eta = 0$  :

- $F_1 = 1$
- $F_2 = 0$
- $F_3 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - r_0^2$
- $F_4 = F_3(x_0, y_0, r_0) + F_3(x_1, y_1, r_1)$
- $F_5 = F_3(x_0, y_0, r_0) \times F_3(x_1, y_1, r_1)$
- On peut définir une courbe par son equation implicite.
- Avantage : Topologie quelconque

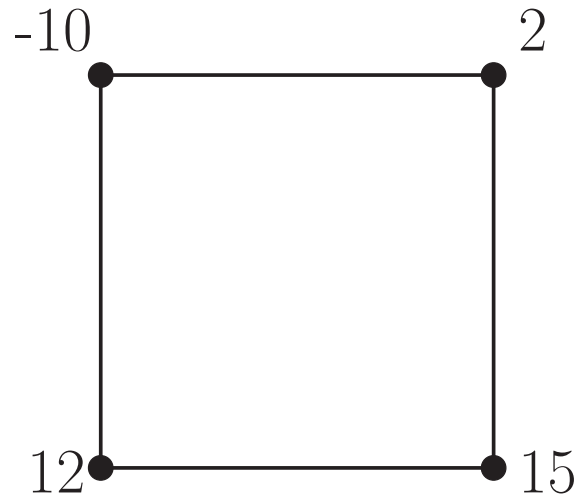
Rendu volumique

## Cas discret

-61	-45	-42	-52	-72	-91	-99	-89
-17	8	13	-2	-34	-69	-94	-98
25	57	64	43	2	-45	-84	-99
51	87	94	71	25	-30	-76	-99
51	87	94	71	25	-30	-76	-99
25	57	64	43	2	-45	-84	-99
-17	7	13	-2	-34	-69	-94	-98
-61	-45	-42	-52	-72	-91	-99	-89

Rendu volumique

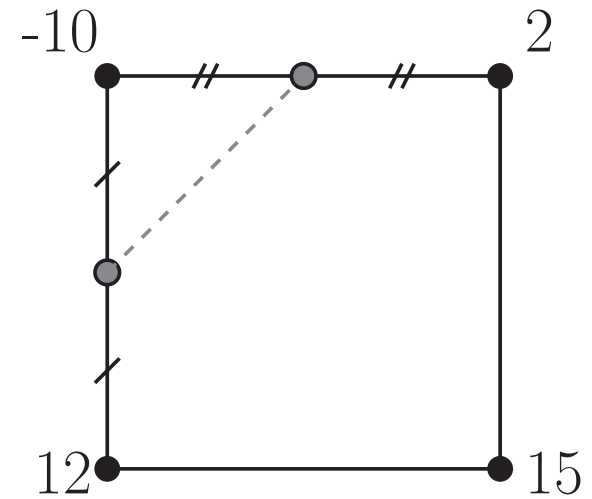
### Cas discret



Rendu volumique

### Cas discret : Interpolation

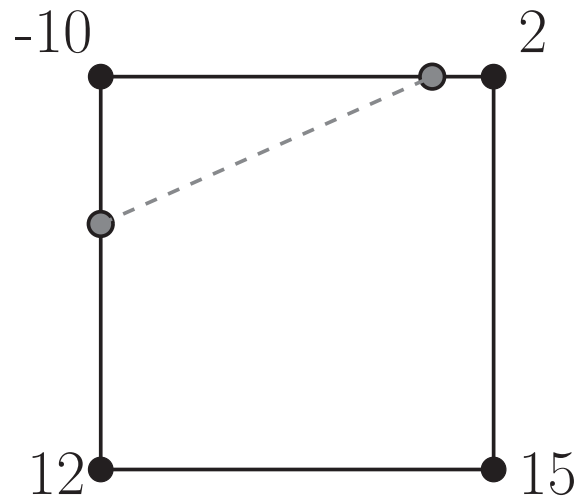
- Milieu des segments



Rendu volumique

### Cas discret : Interpolation

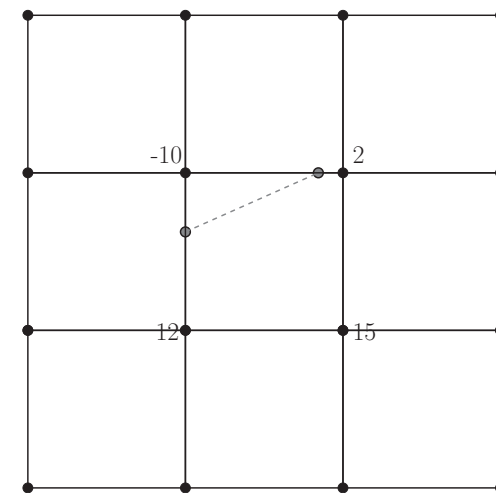
- Interpolation (bi)-linéaire



Rendu volumique

### Cas discret : Interpolation

- Autres interpolations (cubique, spline, ...)

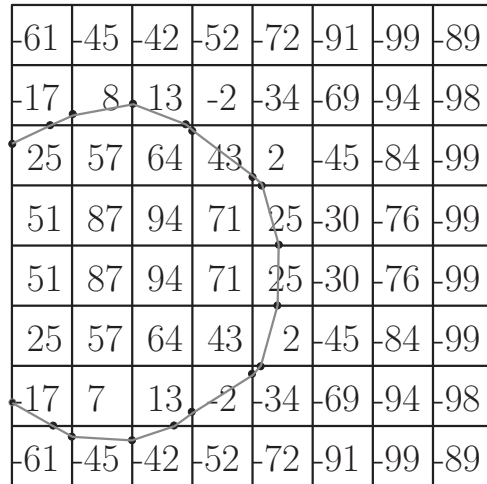


Rendu volumique



## Cas discret : résultat

### ■ Application au cas précédent



Rendu volumique

## Rappel sur l'interpolation

### ■ Recherche de zéro par interpolation linéaire

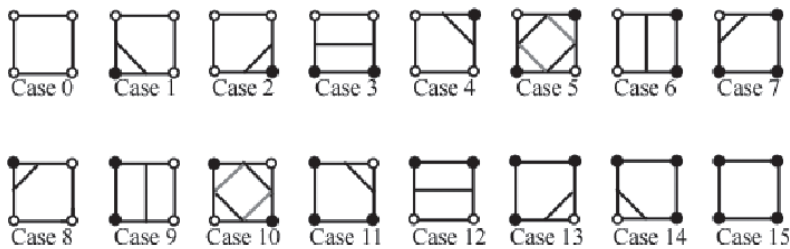
$$\begin{array}{ccc}
 I(X_0) & I(X) = 0 & I(X_1) \\
 \bullet & \bullet & \bullet \\
 X_0 & X & X_1
 \end{array}$$

$$X = \frac{I(X_1)X_0 - I(X_0)X_1}{I(X_1) - I(X_0)}$$

Rendu volumique

## Cas possibles

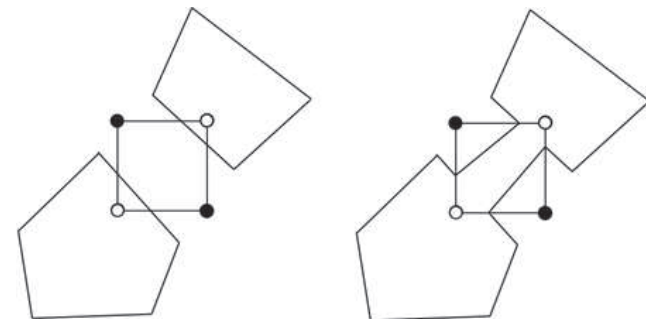
### ■ Pour une cellule : 16 cas différents



Rendu volumique

## Cas possibles

### ■ Cas indéterminés



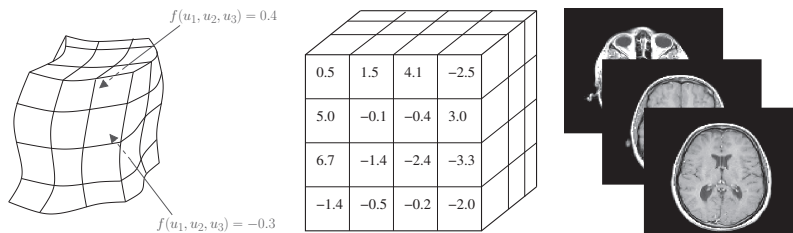
Rendu volumique

- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

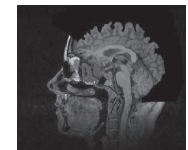
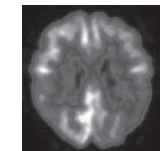
## Notations

- Dans le cas de densités, on a :  $f(u_1, u_2, u_3) = I \in \mathbb{R}$ .
- Le plus généralement :  $f(x, y, z) = I$ .
- En discret :  $f(k_x \Delta x, k_y \Delta y, k_z \Delta z) = I_{k_x, k_y, k_z}$ .



## Modalités d'imagerie médicale

- Rayons X (CT)
  - Anatomique
  - Mesure d'atténuation (problème inverse)
- Nucléaire (PET, SPECT)
  - Fonctionnel
  - Mesure d'émission atténuée (problème inverse - complexe)
- IRM
  - Anatomique (IRM classique, Angiographie) ou Fonctionnel
  - Mesure de densité (mesure directe)

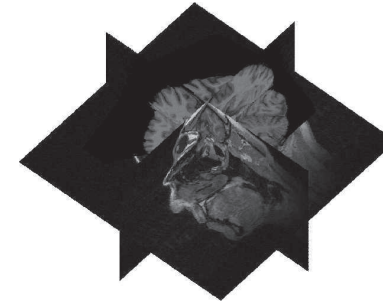


- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

Rendu volumique

## Slicing

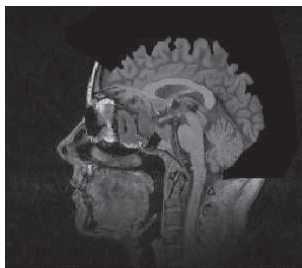
- Idée : On découpe des “tranches” de surfaces prédéfinies dans  $V$ .
- On colore la **densité** rencontrée (niveau de gris, texture, ...)
- On affiche  $I(u_1 = \text{const}, u_2, u_3)$ ,  $I(u_1, u_2 = \text{const}, u_3)$ ,  $I(u_1, u_2, u_3 = \text{const})$ .



Rendu volumique

## Rendu sur variété

- On peut considérer des surfaces quelconques
- Question : Comment choisir la surface



Rendu volumique

- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

Rendu volumique

## Isosurface

- Une surface particulière souvent utilisée : l'**Isosurface**  
Isosurface d'isovaleur  $\eta$  de la fonction  $I$  est

$$\{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 | I(x, y, z) = \eta\}$$

- On fait évoluer  $\eta$  pour obtenir différentes surfaces
- Comment construire une surface triangulé ?

Rendu volumique

## Marching-Cube : Introduction

- But : Construire une surface triangulé à partir d'un champ volume discret donné par  $I(x, y, z) - \eta$ .
- Premier brevet logiciel en infographie en 1985 par Lorensen and Cline.
- Données d'entrées : Grille 3D suivant  $(x, y, z)$  de  $(N_i, N_j, N_k)$  sommets.

0.5	1.5	4.1	-2.5
5.0	-0.1	-0.4	3.0
6.7	-1.4	-2.4	-3.3
-1.4	-0.5	-0.2	-2.0

Rendu volumique

## Exemples

Pour  $\eta = 0$  :

- $F_1 = 1$
- $F_2 = 0$
- $F_3 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 - r_0^2$
- $F_4 = F_3(x_0, y_0, z_0, r_0) + F_3(x_1, y_1, z_1, r_1)$
- $F_5 = F_3(x_0, y_0, z_0, r_0) \times F_3(x_1, y_1, z_1, r_1)$
- On peut définir une surface par son equation implicite.
- Avantage : Topologie quelconque

Rendu volumique

## Marching-Cube : Principe

- On parcourt cube à cube
- On calcule le signe de  $I(x_i, y_j, z_k) - \eta$
- On considère les différents cas possibles
- La valeur 0 est obtenue par interpolation

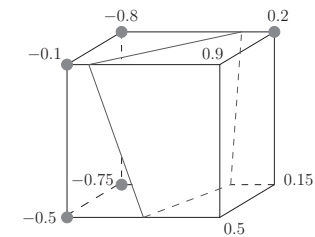
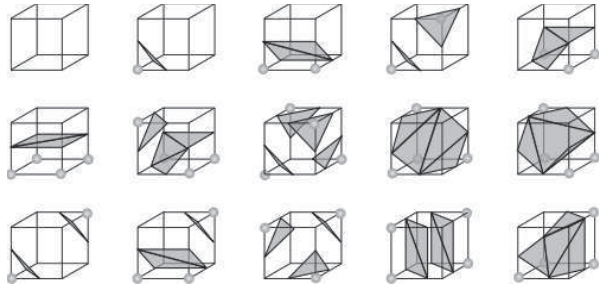


FIGURE : Exemple d'un cas

Rendu volumique

## Marching-Cube : Différents Cas

- En tout : 256 cas possible
- Se ramène à 15 cas de bases (on retrouve les 256 par rotation)



Rendu volumique

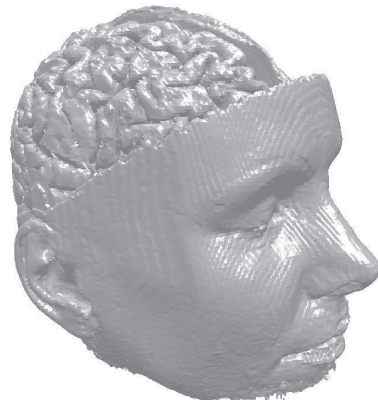
## Marching-cube : Avantage-Inconvénients

- ⊕ Rapidité d'exécution
- ⊖ Aspect cubique
  - Lissage du volume
  - Lissage de la surface finale
  - Adéquation médicale ?
- ⊖ Cas litigieux

Rendu volumique

## Exemple d'isosurface : IRM

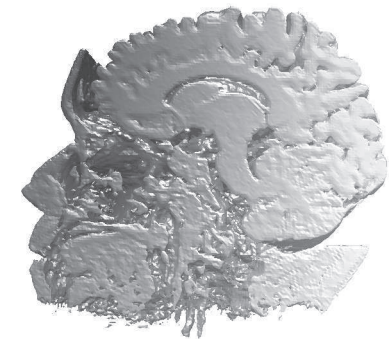
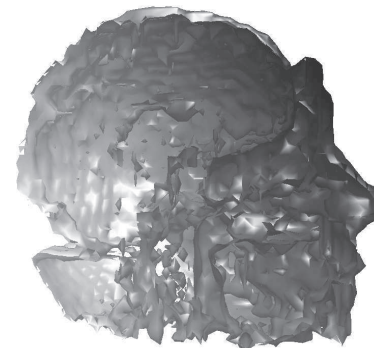
- Données IRM ( $256 \times 256 \times 99$ )



Rendu volumique

## Exemple d'isosurface : IRM

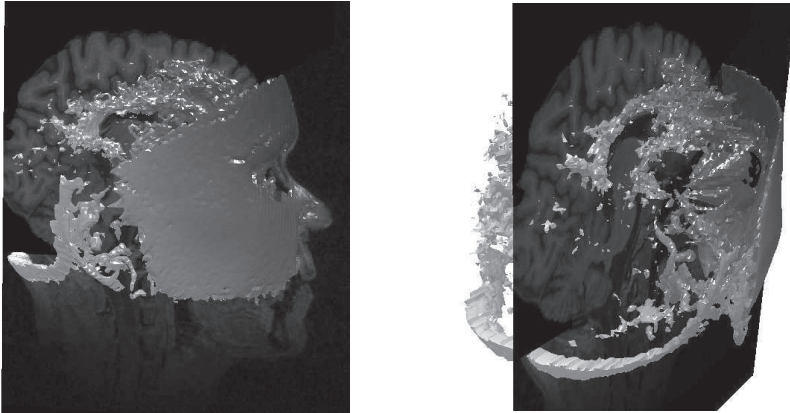
- Structures interne observable en coupant la surface.
- Valeurs aux frontières donne l'aspect du maillage.



Rendu volumique

## Exemple d'isosurface : IRM

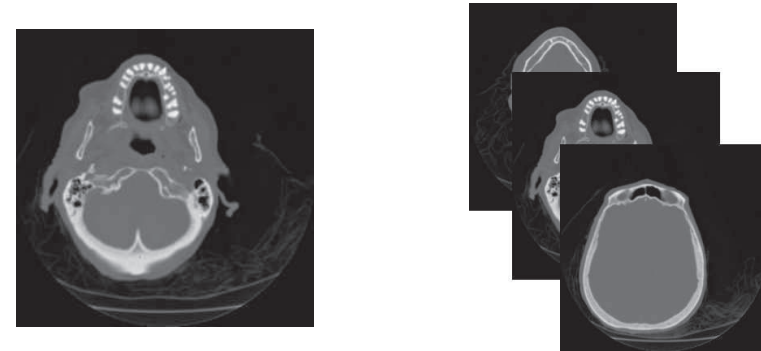
- Combine slicing + isosurface



Rendu volumique

## Exemple d'isosurface : CT

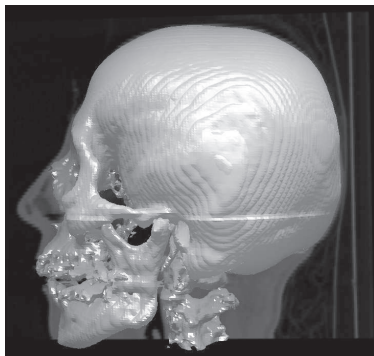
- Donnée CT (Rayons X)
- Information morphologique : peau/os
- $(256 \times 256 \times 99)$



Rendu volumique

## Exemple d'isosurface : CT

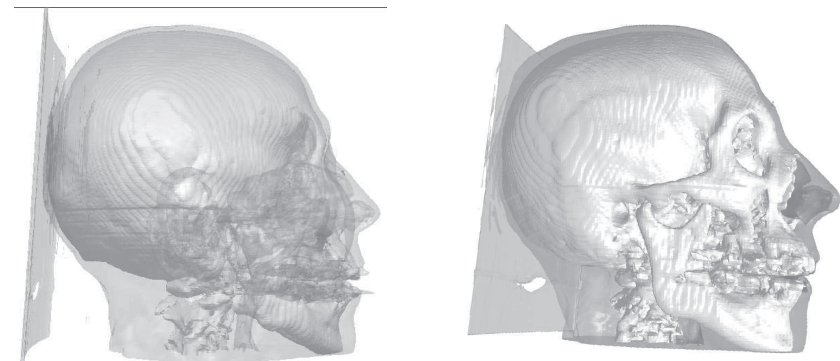
- 2 Informations majeurs de peau + os
- Intérêt de la combinaison coupe + isosurface



Rendu volumique

## Exemple d'isosurface : CT

- Possibilité de cumule d'informations surfacique par transparence

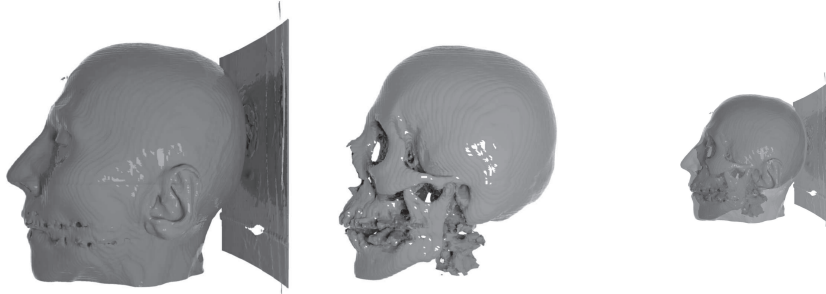


Rendu volumique



## Exemple d'isosurface : CT

- Ajout d'un rendu, visualisation morphologique

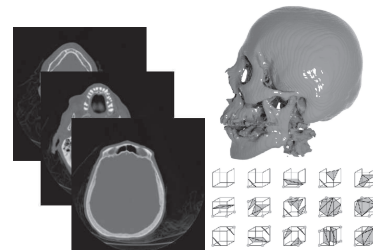


Rendu volumique

## Rappels

Ce qu'on a vu :

- Coupe surfacique dans le volume.
- Extraction d'isosurface (marching cubes/tetraedres).



Ce que l'on va voir :

- Rendu par transparence = Visu volumique



Rendu volumique

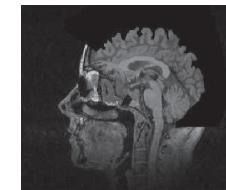
- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

Rendu volumique

## Avantage/Inconvenient

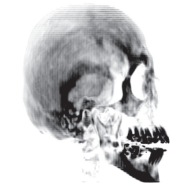
*Approche surfacique*

- ⊕ Précis
- ⊕ Reduction des donnees
- ⊖ Informations locales :  
Connaissance prealable des données



*Approche volumique*

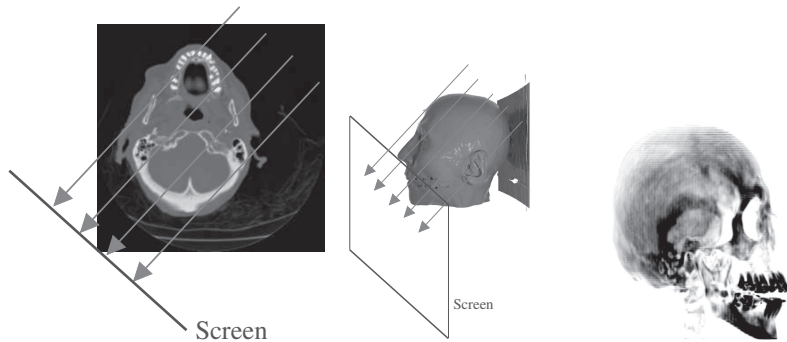
- ⊕ Information globale, visualisation directe
- ⊖ Peu precis, transparence trompeuse



*Pipe-line classique* : Volumique dans un premier temps pour guider une visu surfacique.

Rendu volumique

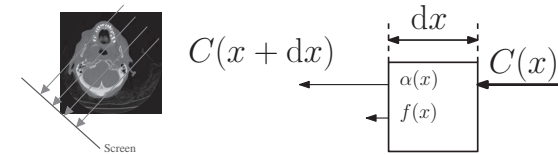
- **But** : Modeliser une acquisition par transparence.
- **Probleme** : Humains peu habitués à voir par transparence.
- **Principe général** : Ray-casting/tracing = On lance des *rayons* et on affecte une couleur en fonction du trajet parcouru et obstacles rencontrés.



Rendu volumique

## Mise en equation

Cas d'émission atténuée



$$C(x + dx) = [1 - \alpha(x) dx] C(x) + f(x)$$

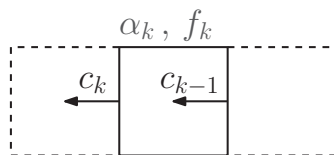
$$\Rightarrow C'(x) = -\alpha(x)C(x) + f(x)$$

$$\Rightarrow C(x) = \left( \int_{x_0}^x f(u) e^{\int_{x_0}^u \alpha(t) dt} + C(x_0) \right) e^{-\int_{x_0}^x \alpha(t) dt}$$

- Trouver  $C$  pour  $\alpha, f$  donné = Visu volumique
- Trouver  $\alpha, f$  pour  $C$  donné = Tomographie

Rendu volumique

## Version discrete



Equation itérative discrète

$$c_k = (1 - \alpha_k) c_{k-1} + f_k$$

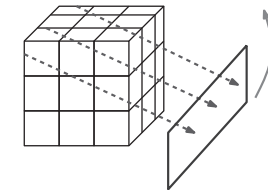
- $\alpha_k, f_k$  sont fonctions de l'intensité  $I$  du voxel.
  - ex.  $\alpha_k = A \Delta x I_k, f_k = B \Delta x I_k$ .
  - Plus généralement, on définit des fonction de transferts  $\mathcal{F}, \mathcal{G}$  tels que  $\alpha_k = \mathcal{F}(I_k), f_k = \mathcal{G}(I_k)$ .

Rendu volumique

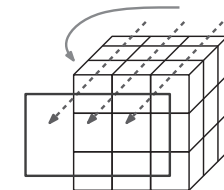
## Implémentation

Deux approches :

- Lancé de rayons obliques



- Rotation du volume puis intégration sur un axe (texture 3D)



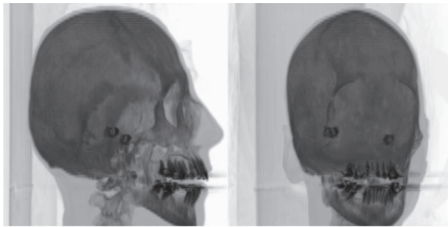
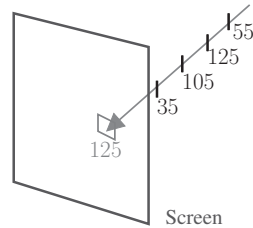
Facilement parallélisable.

Rendu volumique

## Cas particulier : MIP

MIP=Maximum Intensity Projection :  $c = \max_k(I_k)$ .

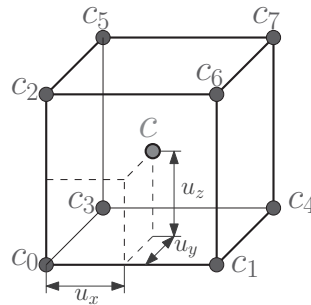
- ⊕ Rapide, simple.
- ⊕ Standard dans le monde médical.
- ⊖ Absence totale d'information de profondeur en statique.



Rendu volumique

## Rappel : interpolation trilineaire

$$\begin{aligned}
 c &= (1 - u_x)(1 - u_y)(1 - u_z) & c0+ \\
 &u_x(1 - u_y)(1 - u_z) & c1+ \\
 &(1 - u_x)(1 - u_y)u_z & c2+ \\
 &(1 - u_x)u_y(1 - u_z) & c3+ \\
 &u_xu_y(1 - u_z) & c4+ \\
 &(1 - u_x)u_yu_z & c5+ \\
 &u_x(1 - u_y)u_z & c6+ \\
 &u_xu_yu_z & c7
 \end{aligned}$$

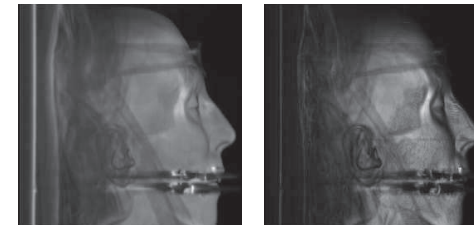
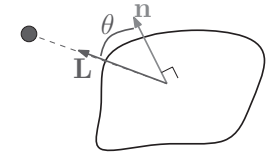


Rendu volumique

## Eclairage

- Rappel : Éclairage diffus =  $\cos(\theta)$ , avec  $\cos(\theta) = \langle \mathbf{L}, \mathbf{n} \rangle$ .
- En un voxel donné, on approxime une surface de normale  $\mathbf{n} = \frac{\nabla I}{\|\nabla I\|}$ .
- En discret, une possibilité

$$\nabla I = \begin{pmatrix} I(k_x + 1, k_y, k_z) - I(k_x - 1, k_y, k_z) \\ I(k_x, k_y + 1, k_z) - I(k_x, k_y - 1, k_z) \\ I(k_x, k_y, k_z + 1) - I(k_x, k_y, k_z - 1) \end{pmatrix}$$



Rendu volumique

## Librairies

Il existe des librairies toutes faites :

- VTK (the Visualization ToolKit). Lourd mais complet et efficace.  
<http://www.vtk.org/>
- Volume rendering library (Stanford). Classique, Ancien.  
<http://www-graphics.stanford.edu/software/volpack/>
- ImageVis3D. (Utah)  
<http://www.sci.utah.edu/cibc/software/41-imagevis3d.html>
- V3. Rapide sur GPU : <http://www.stereofx.org/volume.html>

Rendu volumique