

4ETI Synthèse d'images Rendu volumique

CPE Lyon
damien.rohmer@cpe.fr

2011

Rendu volumique

Introduction
Donnees scalaires surfaciques
Donnees scalaires volumiques

Visualisation
Exemples de visualisations
Classification

- 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

- 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

Introduction
Donnees scalaires surfaciques
Donnees scalaires volumiques

Visualisation
Exemples de visualisations
Classification

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 mecaniques ...)
- ...

Rendu volumique

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**.

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

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 ?

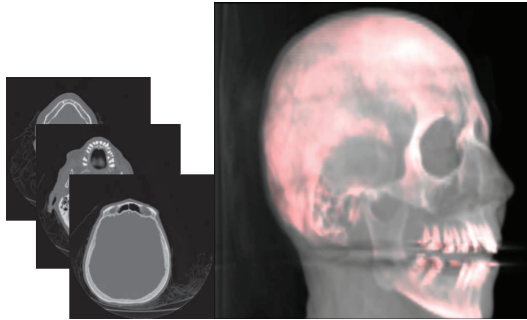
Champ scalaire

Surface du domaine ou caracteristiques internes



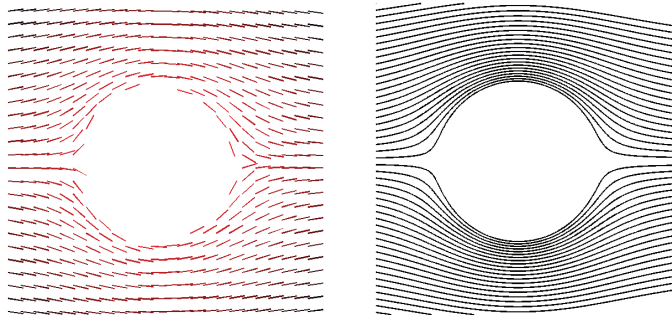
Champ scalaire

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



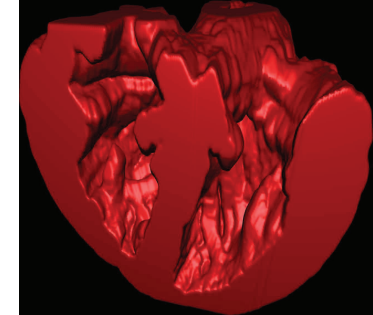
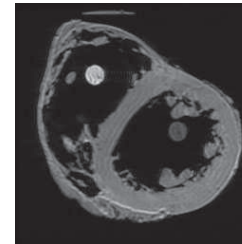
Champ Vectoriel

Vecteurs ou Trajectoires



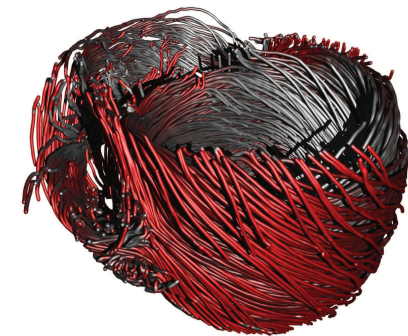
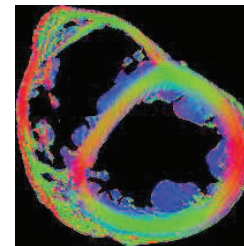
Champ scalaire

Section 2D ou isosurfaces 3D



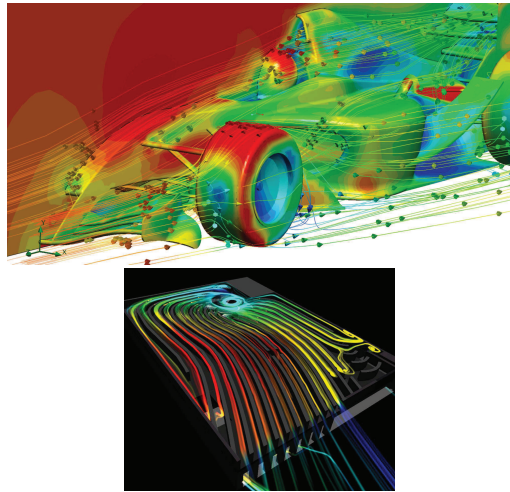
Champ Vectoriel

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



Champ Vectoriel

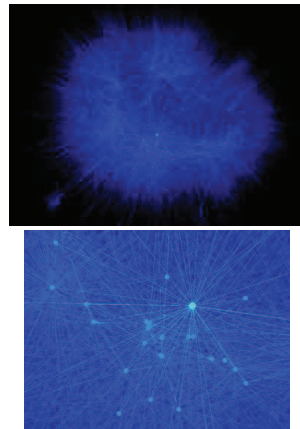
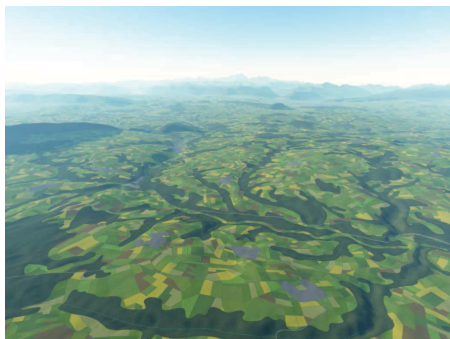
Simulations physiques complexes (streamlines, hyperstreamlines, ...)



Rendu volumique

Grand ensemble de Données

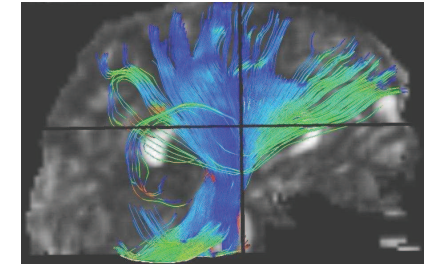
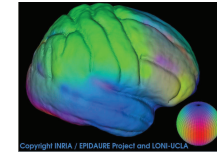
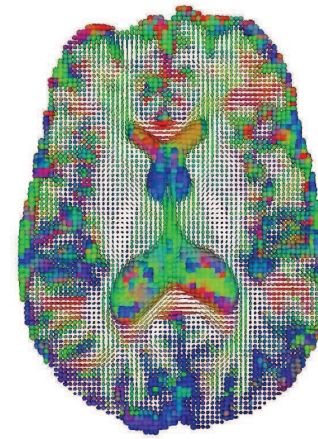
Les données physiques acquises sont souvent trop nombreuses !
(Cartographies, Réseaux, ...)



Rendu volumique

Champ Tensoriel

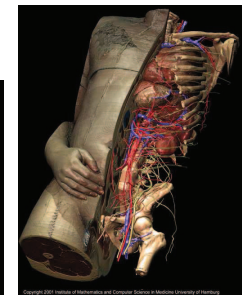
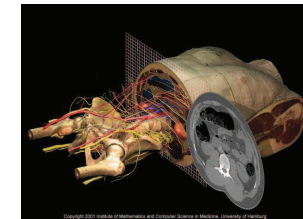
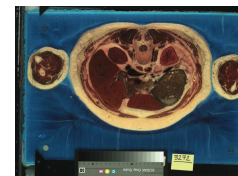
Matrices symétriques 3×3 . (Ellipsoïds, glyphs, orientation, fiber-tracking, ...)



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

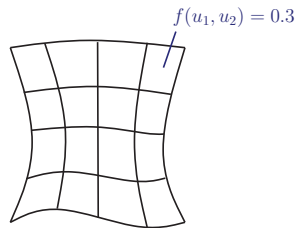
v	d	n	
2	1	2	Image n&b
2	3	2	Image couleur (texture)
2	1	3	Height-field (montagne)
3	1	3	Densité volumique



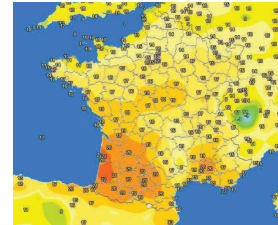
- 1 Introduction
 - Visualisation
 - Exemples de visualisations
 - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
 - Introduction
 - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
 - Introduction
 - Slicing
 - Marching-cube
 - Ray-Casting

Notations

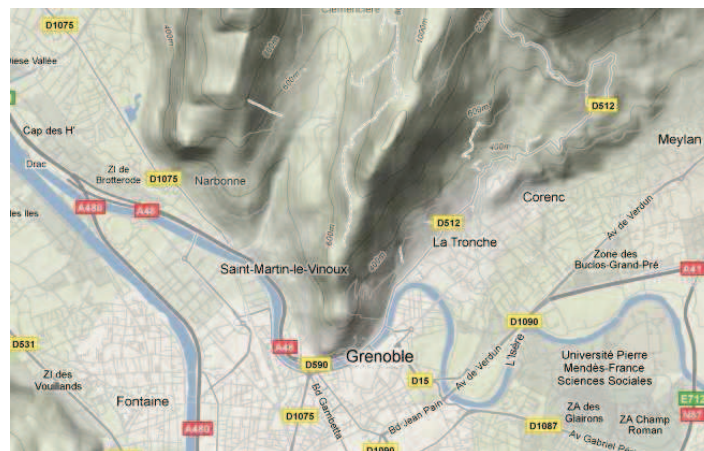
- Dans le cas de densités, on a : $f(u_1, u_2) = l \in \mathbb{R}$.
- Le plus généralement : $f(x, y) = l$.
- En discret : $f(k_x \Delta x, k_y \Delta y) = l_{k_x, k_y}$.



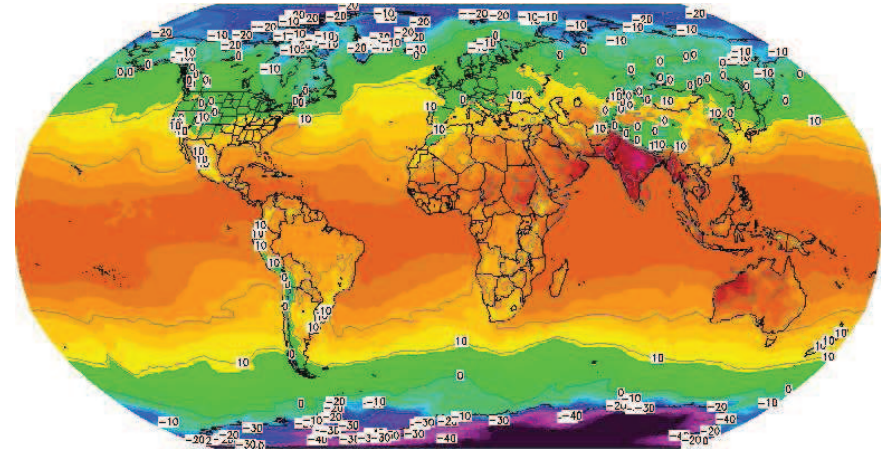
0.5	-0.2	1.1
1.5	0.5	0.9
-0.1	0.0	0.7



Exemples

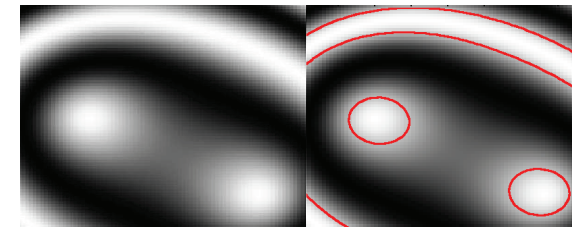


Exemples



But

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

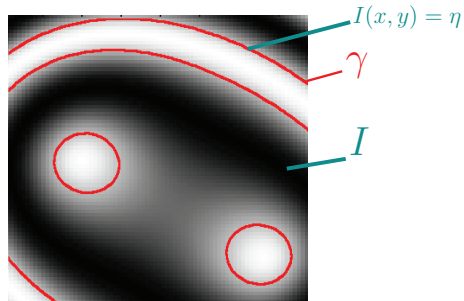


Entré - sortie

- Entré : Densité I 2D sur une grille discrète + isovaleur η
- Sortie : Ensemble de courbes

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

(cas dégénérés : points, régions)



1 Introduction

- Visualisation
- Exemples de visualisations
- Classification

2 Donnees scalaires surfaciques

- Introduction
- Marching-square

3 Donnees scalaires volumiques

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

Exemples - cas continu

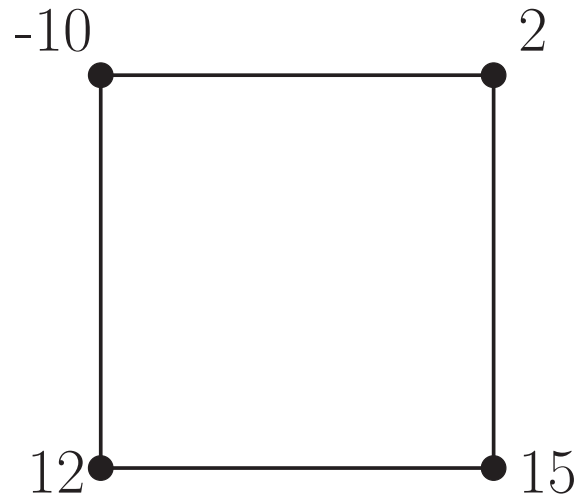
Pour $\eta = 0$:

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

Cas discret

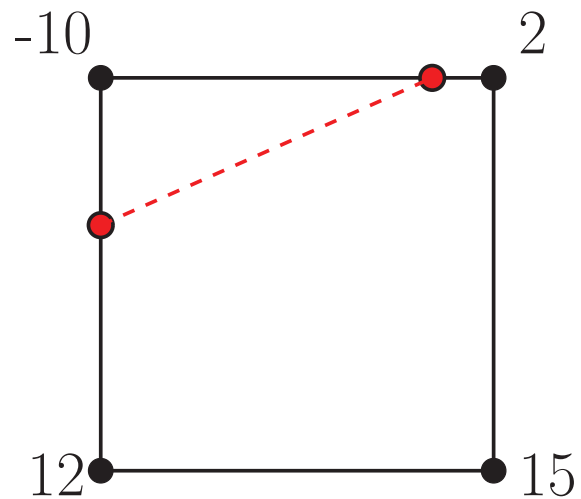
-61	-45	-42	-52	-72	-91	-99	-89
-17	8	13	-2	-34	-69	-94	-98
25	57	64	43	2	-45	-84	-99
51	87	94	71	25	-30	-76	-99
51	87	94	71	25	-30	-76	-99
25	57	64	43	2	-45	-84	-99
-17	7	13	-2	-34	-69	-94	-98
-61	-45	-42	-52	-72	-91	-99	-89

Cas discret



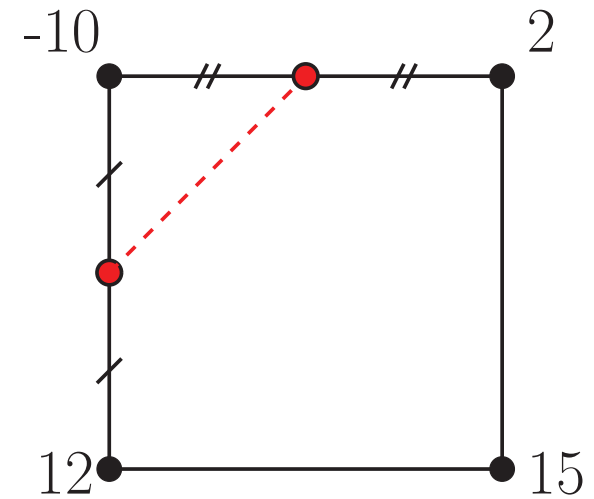
Cas discret : Interpolation

- Interpolation (bi)-linéaire



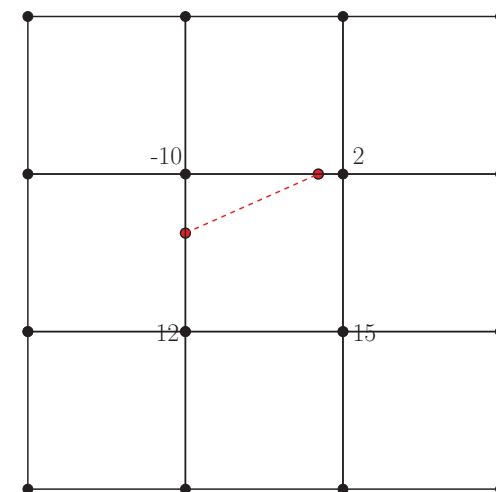
Cas discret : Interpolation

- Milieu des segments



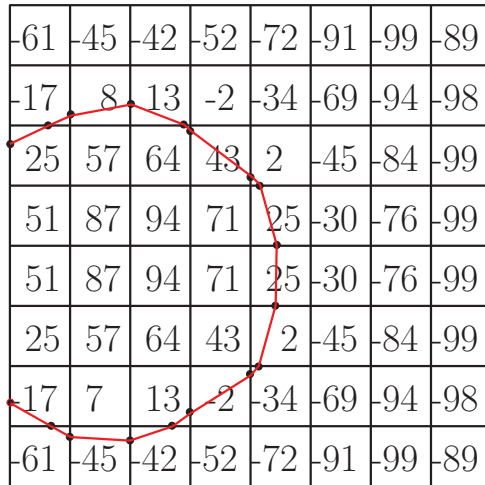
Cas discret : Interpolation

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



Cas discret : résultat

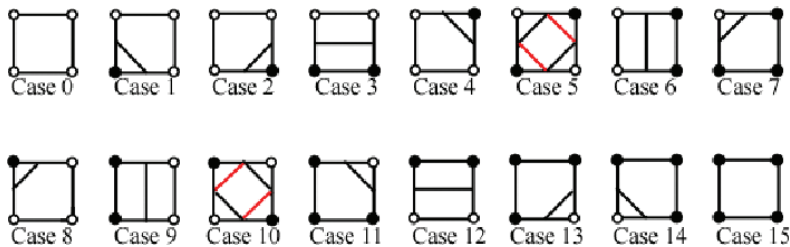
- Application au cas précédent



Rendu volumique

Cas possibles

- Pour une cellule : 16 cas différents



Rendu volumique

Rappel sur l'interpolation

- Recherche de zéro par interpolation linéaire

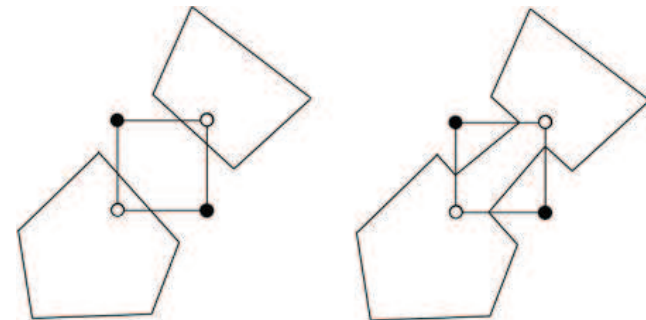
$$I(X_0) \quad I(X) = 0 \quad I(X_1)$$

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

Rendu volumique

Cas possibles

- Cas indéterminés

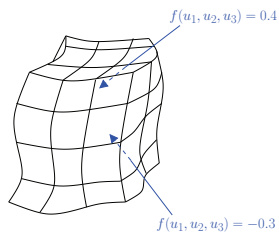


Rendu volumique

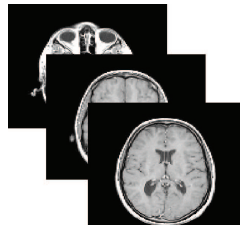
- 1 Introduction
 - Visualisation
 - Exemples de visualisations
 - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
 - Introduction
 - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
 - Introduction
 - Slicing
 - Marching-cube
 - Ray-Casting

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 : $f(k_x \Delta x, k_y \Delta y, k_z \Delta z) = I_{k_x, k_y, k_z}$.



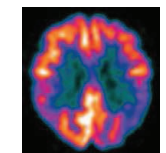
0.5	1.5	4.1	-2.5
5.0	-0.1	-0.4	3.0
6.7	-1.4	-2.4	-3.3
-1.4	-0.5	-0.2	-2.0



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

Modalités d'imagerie médicale

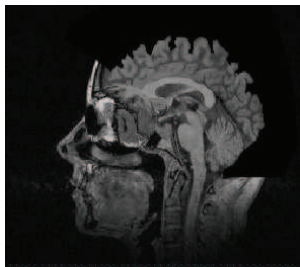
- Rayons X (CT)
 - Anatomique
 - Mesure d'atténuation (problème inverse)
- Nucléaire (PET, SPECT)
 - Fonctionnel
 - Mesure d'émission atténuée (problème inverse - complexe)
- IRM
 - Anatomique (IRM classique, Angiographie) ou Fonctionnel
 - Mesure de densité (mesure directe)



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

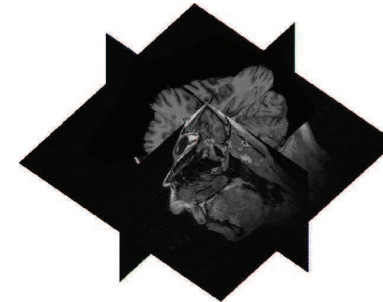
Rendu sur variété

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



Slicing

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



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

Isosurface

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

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

- On fait évoluer η pour obtenir différentes surfaces
- Comment construire une surface triangulé ?

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

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

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

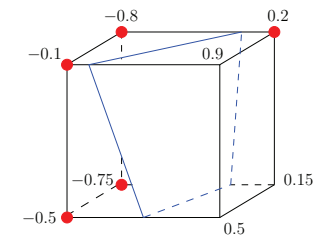
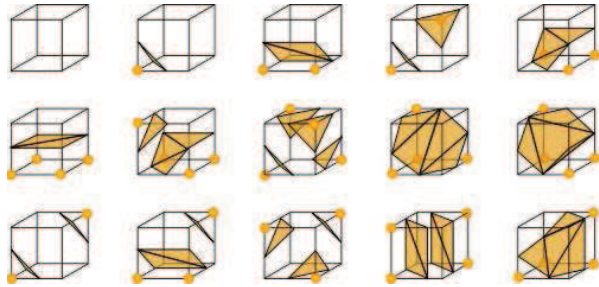


FIGURE: Exemple d'un cas

Marching-Cube : Différents Cas

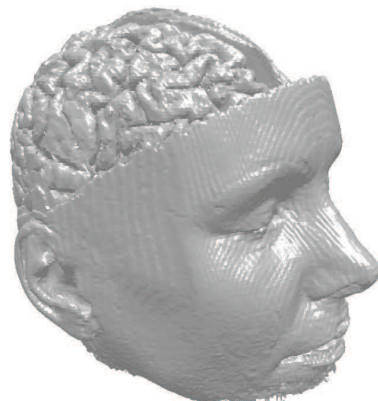
- En tout : 256 cas possible
- Se ramène à 15 cas de bases (on retrouve les 256 par rotation)



Rendu volumique

Exemple d'isosurface : IRM

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



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

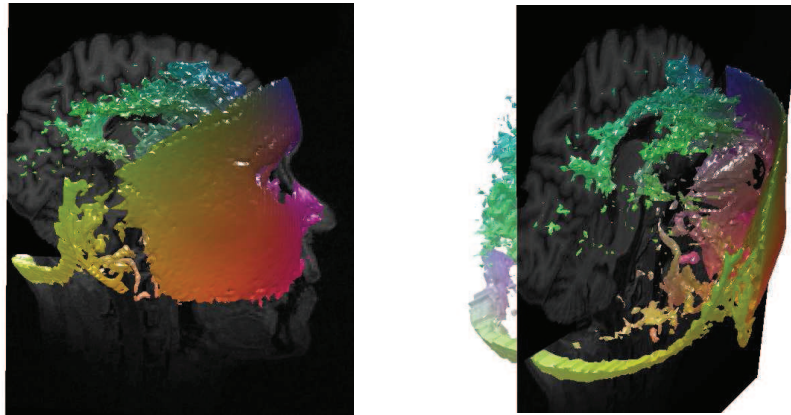
- Structures interne observable en coupant la surface.
- Valeurs aux frontières donne l'aspect du maillage.



Rendu volumique

Exemple d'isosurface : IRM

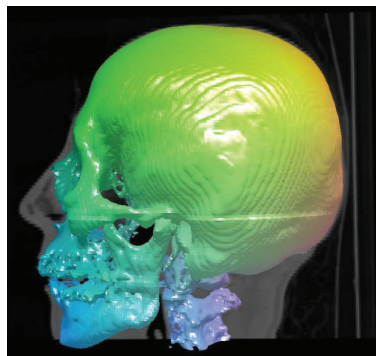
- Combine slicing + isosurface



Rendu volumique

Exemple d'isosurface : CT

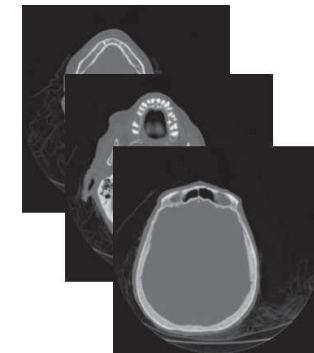
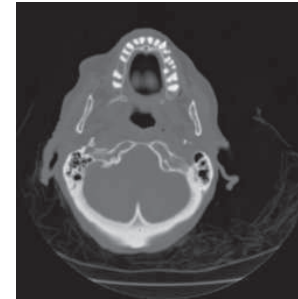
- 2 Informations majeurs de peau + os
- Intérêt de la combinaison coupe + isosurface



Rendu volumique

Exemple d'isosurface : CT

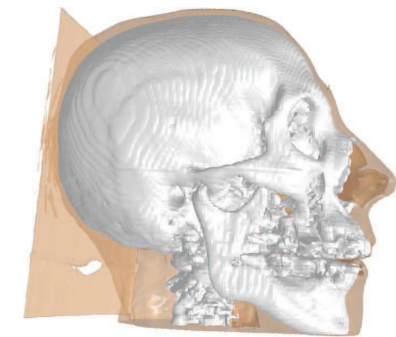
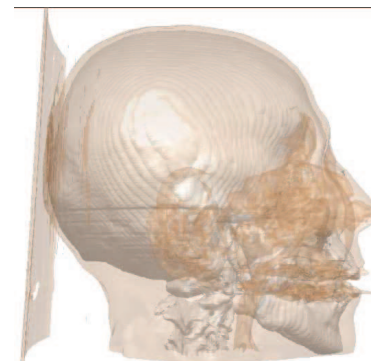
- Donnée CT (Rayons X)
- Information morphologique : peau/os
- $(256 \times 256 \times 99)$



Rendu volumique

Exemple d'isosurface : CT

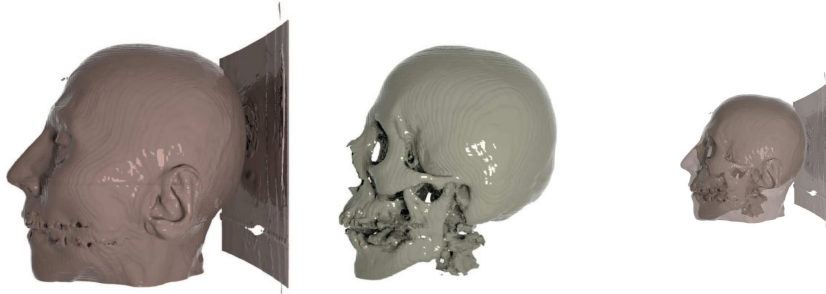
- Possibilité de cumule d'informations surfacique par transparence



Rendu volumique

Exemple d'isosurface : CT

- Ajout d'un rendu, visualisation morphologique

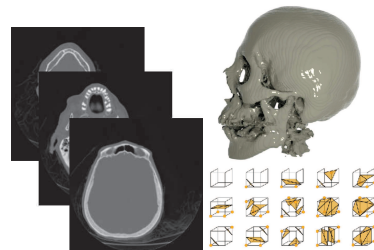


Rendu volumique

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

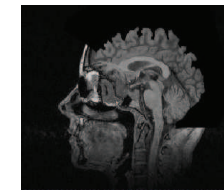
- 1 Introduction
 - Visualisation
 - Exemples de visualisations
 - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
 - Introduction
 - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
 - Introduction
 - Slicing
 - Marching-cube
 - Ray-Casting

Rendu volumique

Avantage/Inconvenient

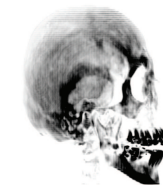
Approche surfacique

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



Approche volumique

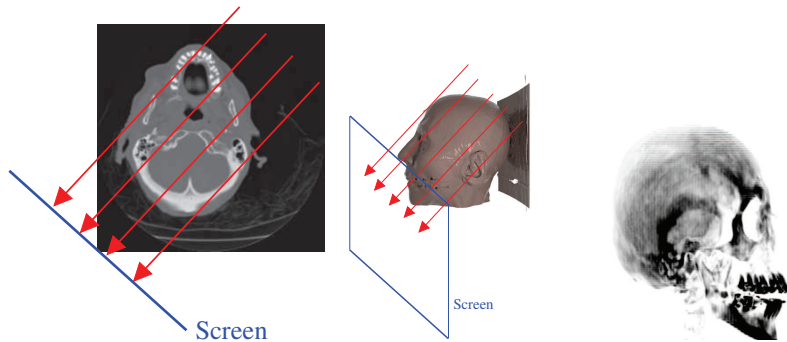
- ⊕ Information globale, visualisation directe
- ⊖ Peu precis, transparence trompeuse



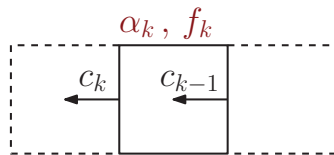
Pipe-line classique : Volumique dans un premier temps pour guider une visu surfacique.

Rendu volumique

- **But** : Modeliser une aquisition 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.



Version discrete



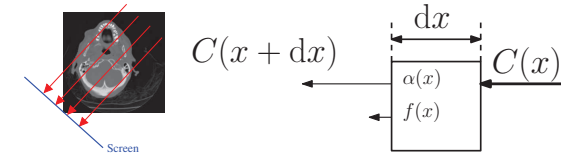
Equation itérative discrète

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

- α_k, f_k sont fonctions de l'intensité I du voxel.
 - ex. $\alpha_k = I_k/255, f_k = I_k$.
 - Plus généralement, on définit des fonction de transferts \mathcal{F}, \mathcal{G} tels que $\alpha_k = \mathcal{F}(I_k), f_k = \mathcal{G}(I_k)$.

Mise en equation

Cas d'émission atténuée



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

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

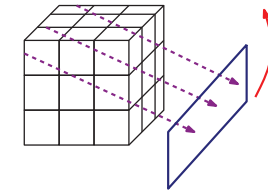
$$\Rightarrow C(x) = \left(\int_{x_0}^x \alpha(u)f(u) e^{\int_{x_0}^u \alpha(t) dt} + C(x_0) \right) e^{-\int_{x_0}^x \alpha(t) dt}$$

- Trouver C pour α, f donné = Visu volumique
- Trouver α, f pour C donné = Tomographie

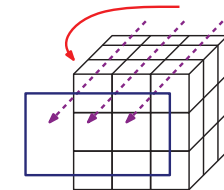
Implémentation

Deux approches :

- Lancé de rayons obliques



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

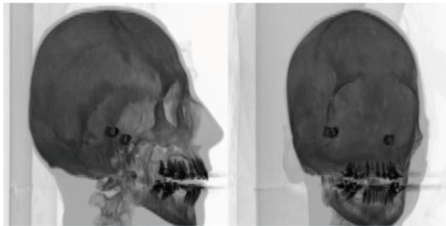
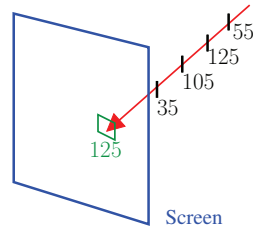


Facilement parallélisable.

Cas particulier : MIP

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

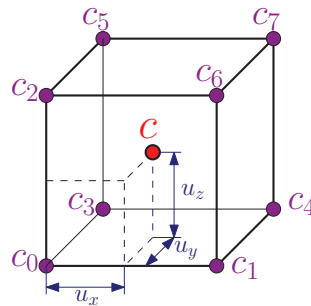
- ⊕ Rapide, simple.
- ⊕ Standard dans le monde médical.
- ⊖ Absence totale d'information de profondeur en statique.



Rendu volumique

Rappel : interpolation trilineaire

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

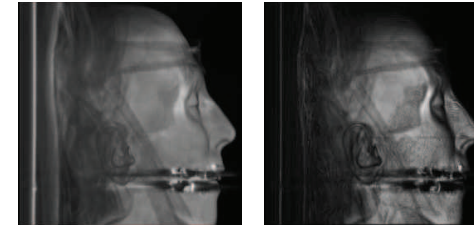
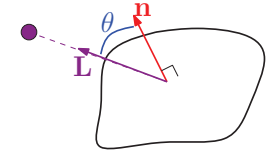


Rendu volumique

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

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



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