

4ETI Synthese 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**.

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 ?

1 Introduction

- Visualisation
- **Exemples de visualisations**
- Classification

2 Donnees scalaires surfaciques

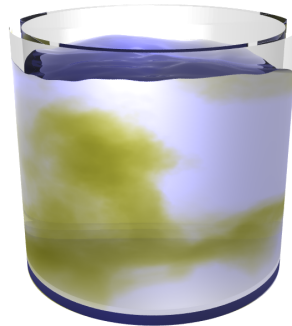
- Introduction
- Marching-square

3 Donnees scalaires volumiques

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

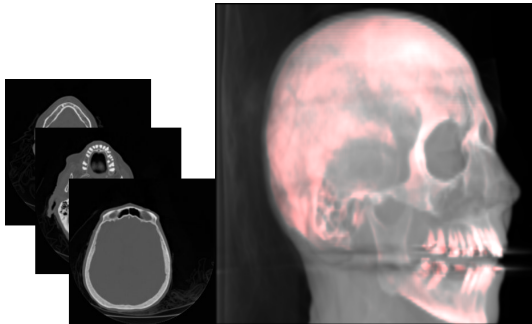
Champ scalaire

Surface du domaine ou caracteristiques internes



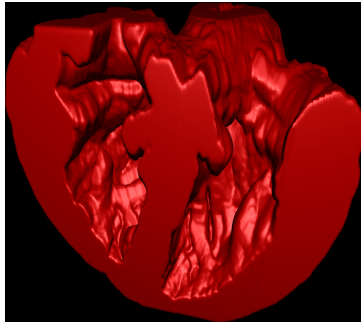
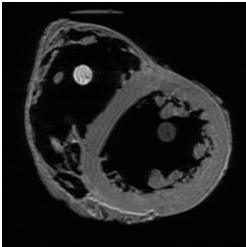
Champ scalaire

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



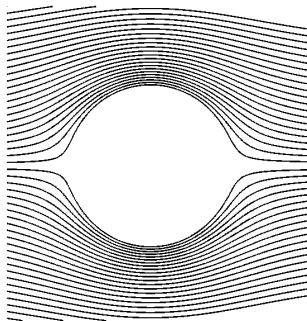
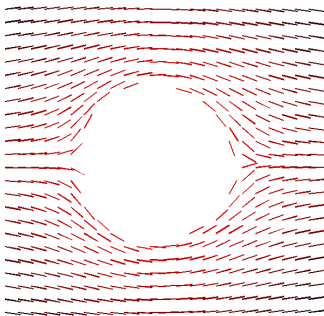
Champ scalaire

Section 2D ou isosurfaces 3D



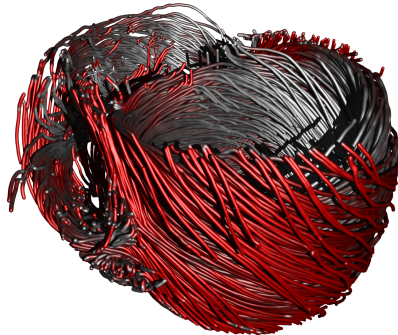
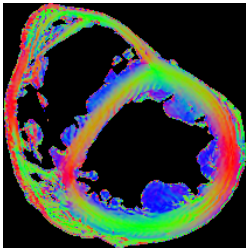
Champ Vectoriel

Vecteurs ou Trajectoires



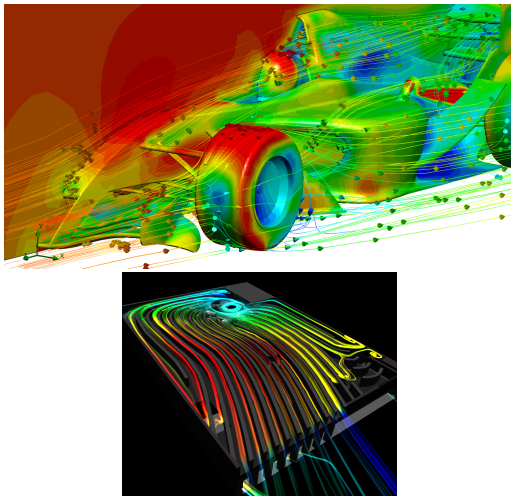
Champ Vectoriel

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



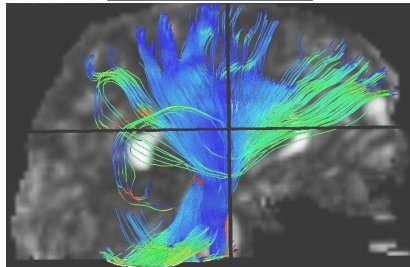
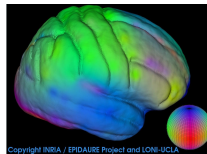
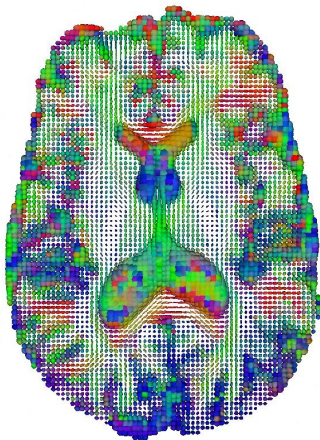
Champ Vectoriel

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



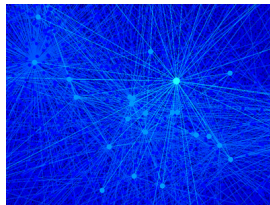
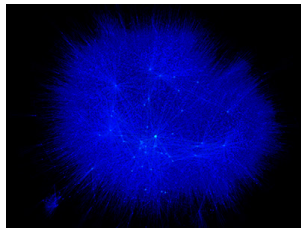
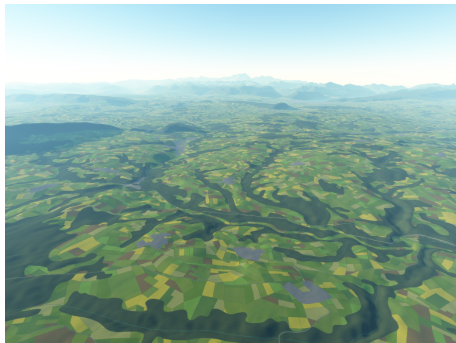
Champ Tensoriel

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



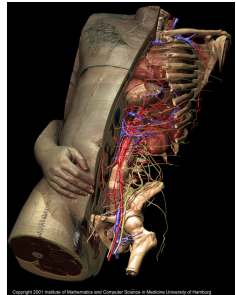
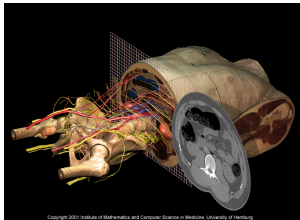
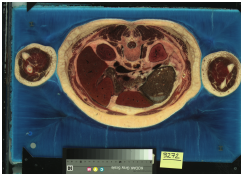
Grand ensemble de Données

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



Grand ensembles de Données

Visible Human Project 40GB (0.33mm)



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

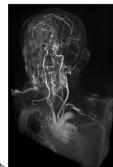
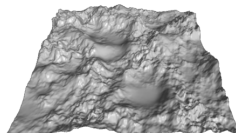
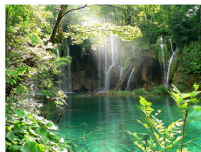
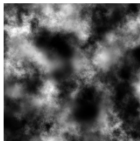
On visualise $f : \begin{cases} \mathbb{R}^v & \rightarrow \mathbb{R}^d \text{ plongé dans } \mathbb{R}^n \\ u & \mapsto f(u) \end{cases}$

$d = 1$	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

1 Introduction

- Visualisation
- Exemples de visualisations
- Classification

2 Donnees scalaires surfaciques

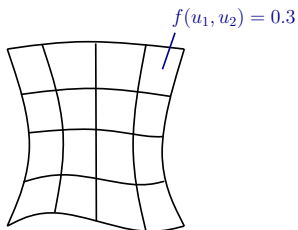
- Introduction
- Marching-square

3 Donnees scalaires volumiques

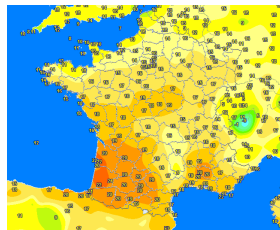
- Introduction
- Slicing
- Marching-cube
- Ray-Casting

Notations

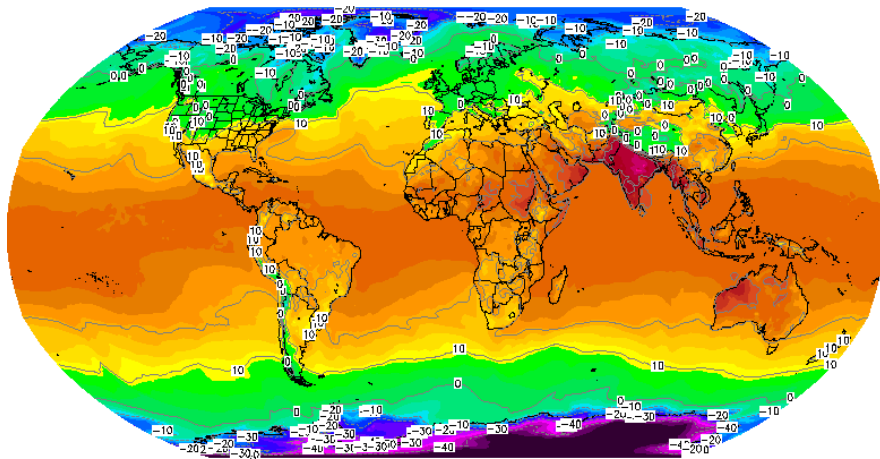
- Dans le cas de densités, on a : $f(u_1, u_2) = I \in \mathbb{R}$.
- Le plus généralement : $f(x, y) = I$.
- En discret : $f(k_x \Delta x, k_y \Delta y) = I_{k_x, k_y}$.



0.5	-0.2	1.1
1.5	0.5	0.9
-0.1	0.0	0.7



Exemples

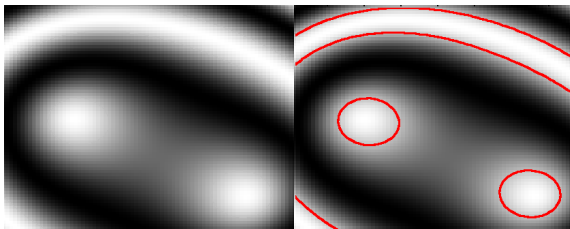


Exemples



But

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

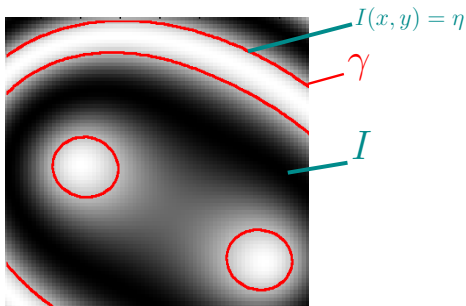


Entré - sortie

- Entré : Densité / 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)



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

1 Introduction

- Visualisation
- Exemples de visualisations
- Classification

2 Donnees scalaires surfaciques

- Introduction
- **Marching-square**

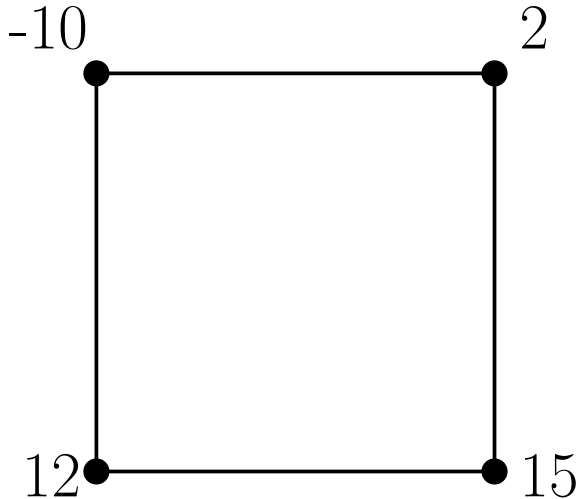
3 Donnees scalaires volumiques

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

Cas discret

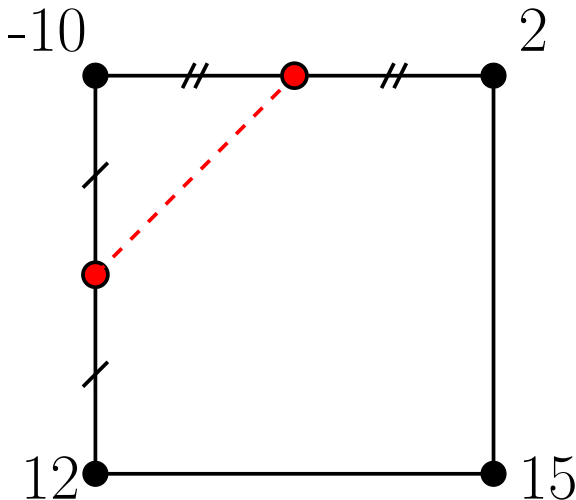
-61	-45	-42	-52	-72	-91	-99	-89
-17	8	13	-2	-34	-69	-94	-98
25	57	64	43	2	-45	-84	-99
51	87	94	71	25	-30	-76	-99
51	87	94	71	25	-30	-76	-99
25	57	64	43	2	-45	-84	-99
-17	7	13	-2	-34	-69	-94	-98
-61	-45	-42	-52	-72	-91	-99	-89

Cas discret



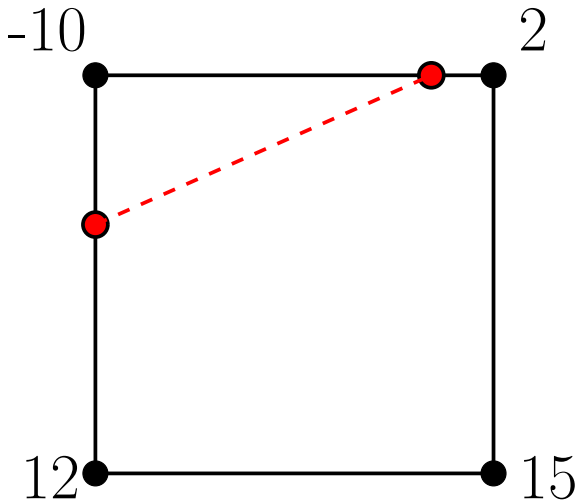
Cas discret : Interpolation

- Milieu des segments



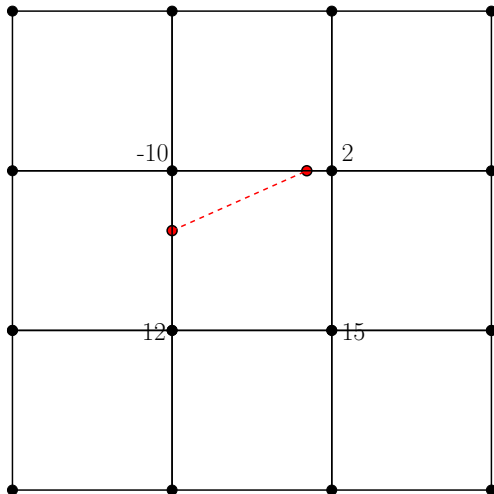
Cas discret : Interpolation

■ Interpolation (bi)-linéaire



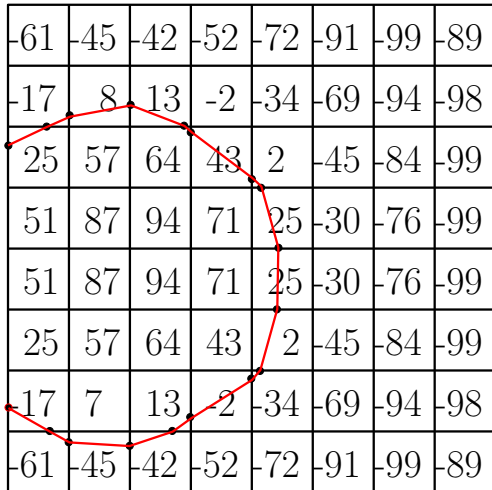
Cas discret : Interpolation

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



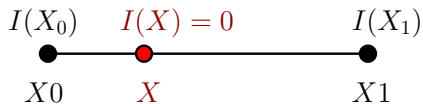
Cas discret : résultat

■ Application au cas précédent



Rappel sur l'interpolation

- Recherche de zéro par interpolation linéaire



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

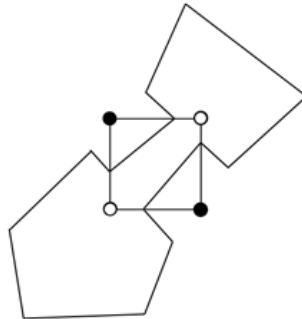
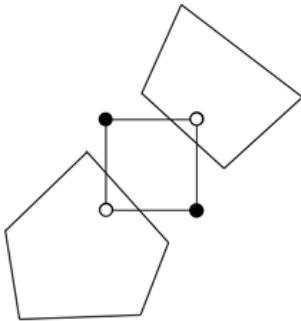
Cas possibles

■ Pour une cellule : 16 cas différents



Cas possibles

■ Cas indéterminés



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

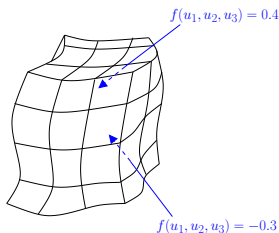
- Introduction
- Marching-square

3 Donnees scalaires volumiques

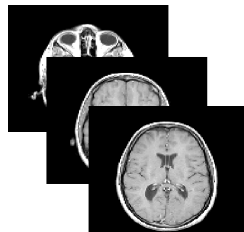
- Introduction
- Slicing
- Marching-cube
- Ray-Casting

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



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

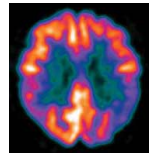


Modalités d'imagerie médicale

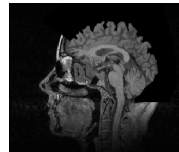
- Rayons X (CT)
 - Anatomique
 - Mesure d'atténuation (problème inverse)



- Nucléaire (PET,SPECT)
 - Fonctionel
 - 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

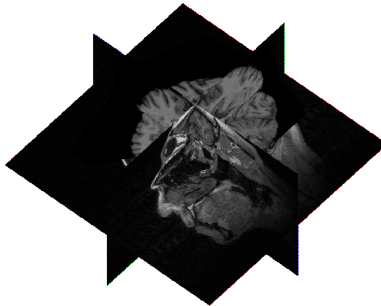
- Introduction
- Marching-square

3 Donnees scalaires volumiques

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

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 sur variété

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



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 triangulée ?

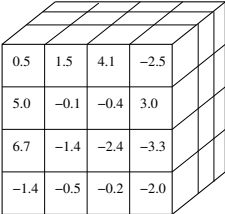
Exemples

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

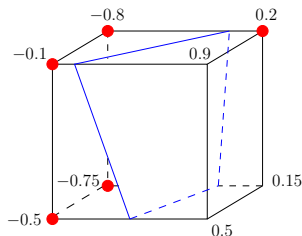
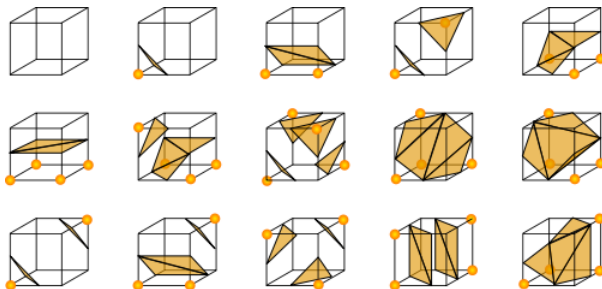


FIGURE : Exemple d'un cas

Marching-Cube : Différents Cas

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

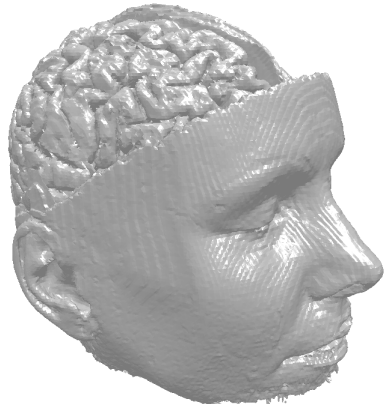


Marching-cube : Avantage-Inconvénients

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

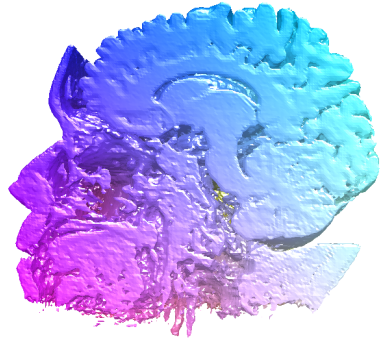
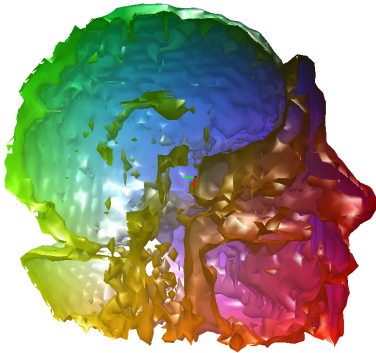
Exemple d'isosurface : IRM

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



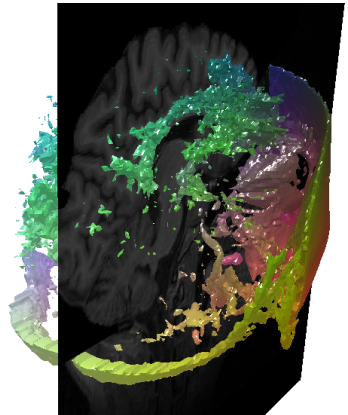
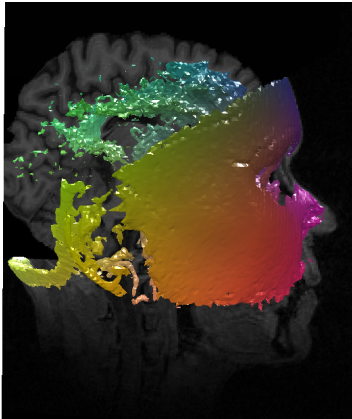
Exemple d'isosurface : IRM

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



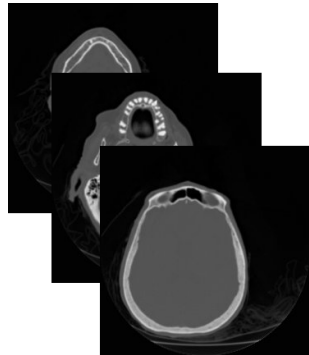
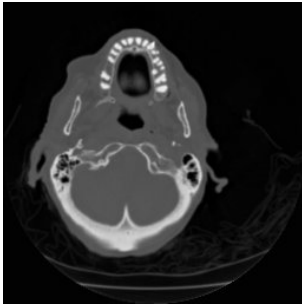
Exemple d'isosurface : IRM

- Combine slicing + isosurface



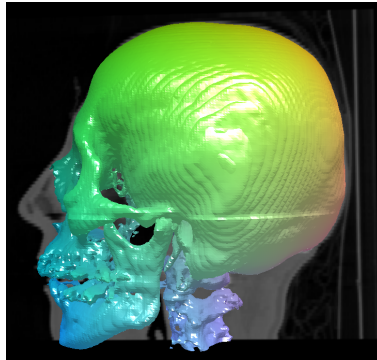
Exemple d'isosurface : CT

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



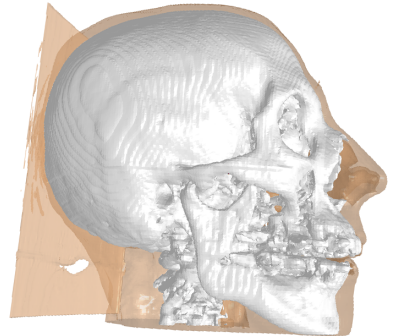
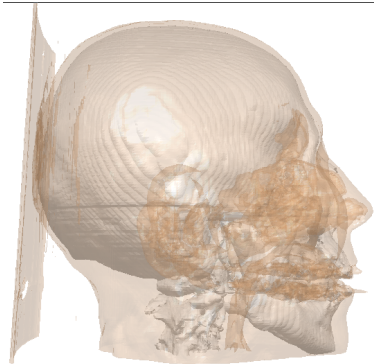
Exemple d'isosurface : CT

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



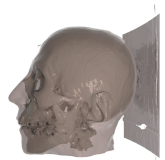
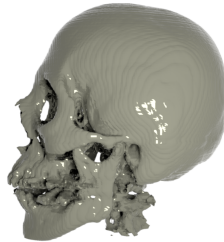
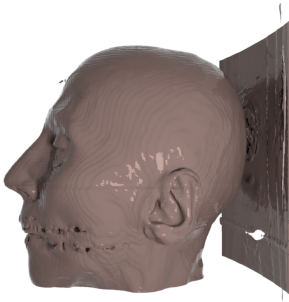
Exemple d'isosurface : CT

- Possibilité de cumule d'informations surfacique par transparence



Exemple d'isosurface : CT

- Ajout d'un rendu, visualisation morphologique



1 Introduction

- Visualisation
- Exemples de visualisations
- Classification

2 Donnees scalaires surfaciques

- Introduction
- Marching-square

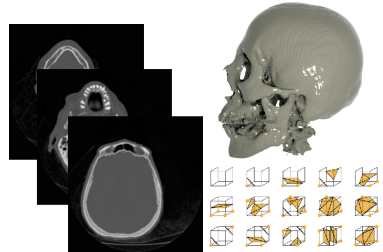
3 Donnees scalaires volumiques

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

Rappels

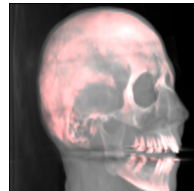
Ce qu'on a vu :

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



Ce que l'on va voir :

- Rendu par transparence =
Visu volumique



Avantage/Inconvenient

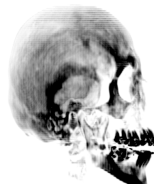
Approche surfacique

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



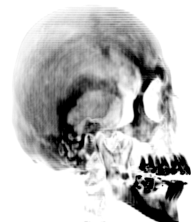
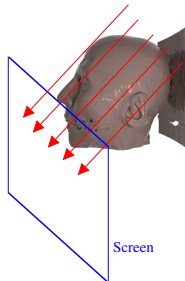
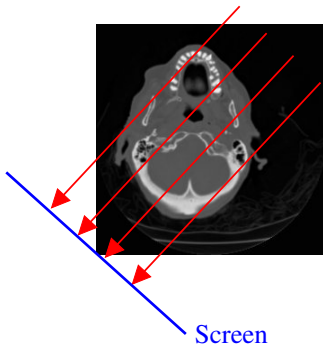
Approche volumique

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



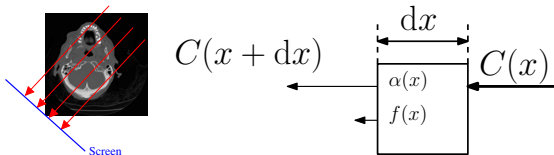
Pipe-line classique : Volumique dans un premier temps pour guider
une visu surfacique.

- **But** : Modéliser 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.



Mise en equation

Cas d'émission atténuée



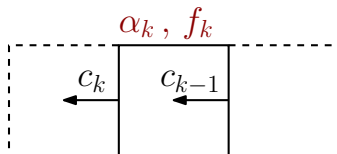
$$C(x + dx) = [1 - \alpha(x) dx] C(x) + f(x)$$

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

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

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

Version discrète



Equation itérative discrète

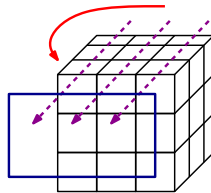
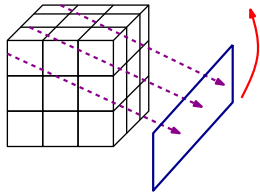
$$c_k = (1 - \alpha_k) c_{k-1} + f_k$$

- α_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 fonctions de transferts $\mathcal{F}, \mathcal{G}$ tels que $\alpha_k = \mathcal{F}(I_k), f_k = \mathcal{G}(I_k)$.

Implémentation

Deux approches :

- Lancé de rayons obliques
- Rotation du volume puis intégration sur un axe (texture 3D)

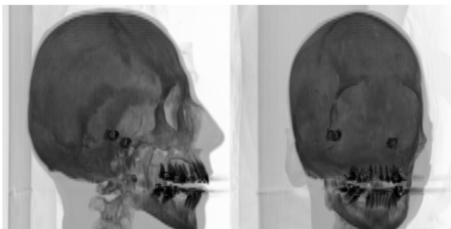
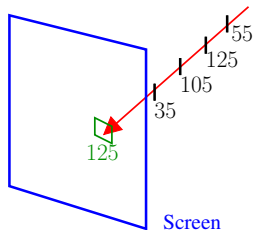


Facilement parallélisable.

Cas particulier : MIP

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

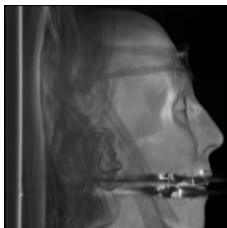
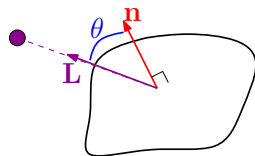
- ⊕ Rapide, simple.
- ⊕ Standard dans le monde médical.
- ⊖ Absence totale d'information de profondeur en statique.



Eclairement

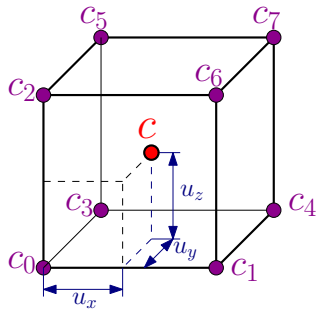
- Rappel : Éclairage diffus = $\cos(\theta)$, avec $\cos(\theta) = \langle \mathbf{L}, \mathbf{n} \rangle$.
- En un voxel donné, on approxime une surface de normale $\mathbf{n} = \frac{\nabla I}{\|\nabla I\|}$.
- En discret, une possibilité

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



Rappel : interpolation trilineaire

$$\begin{aligned} c = & (1 - u_x)(1 - u_y)(1 - u_z) \quad c_0 + \\ & u_x(1 - u_y)(1 - u_z) \quad c_1 + \\ & (1 - u_x)(1 - u_y)u_z \quad c_2 + \\ & (1 - u_x)u_y(1 - u_z) \quad c_3 + \\ & u_xu_y(1 - u_z) \quad c_4 + \\ & (1 - u_x)u_yu_z \quad c_5 + \\ & u_x(1 - u_y)u_z \quad c_6 + \\ & u_xu_yu_z \quad c_7 \end{aligned}$$



Librairies

Il existe des librairies toutes faites :

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