

# 4ETI Synthèse d'images

## Rendu volumique

CPE Lyon  
damien.rohmer@cpe.fr

2011

- 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

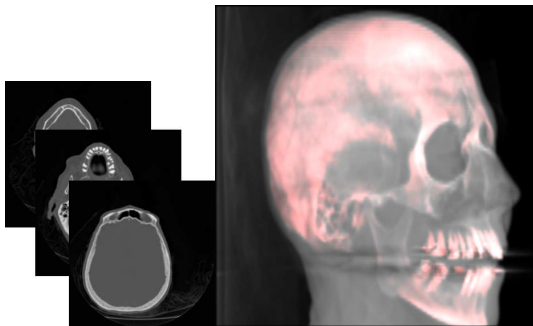
Surface du domaine ou caracteristiques internes





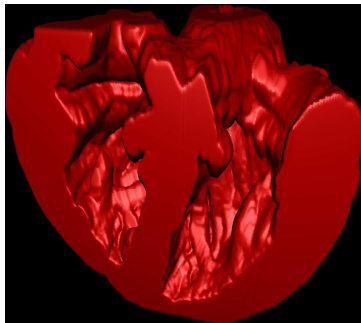
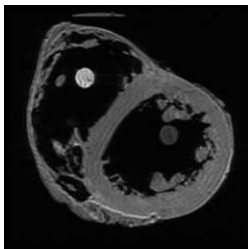
# Champ scalaire

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



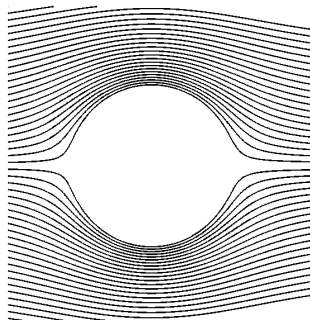
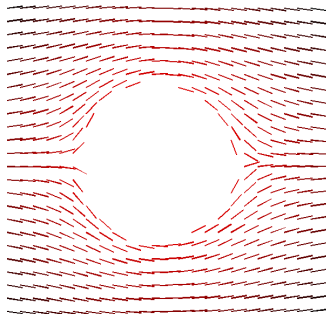
# Champ scalaire

Section 2D ou isosurfaces 3D



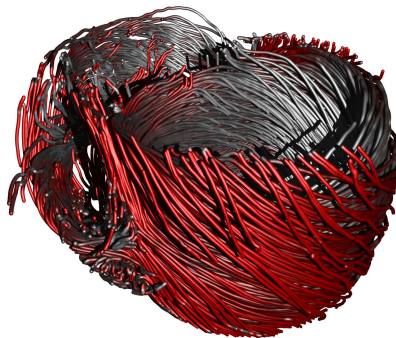
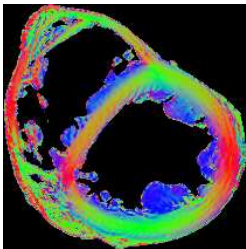
# Champ Vectoriel

## Vecteurs ou Trajectoires



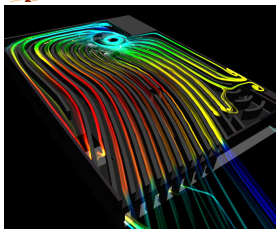
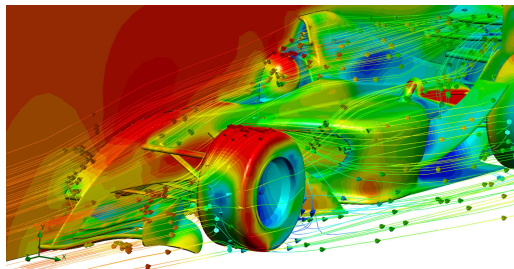
# Champ Vectoriel

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



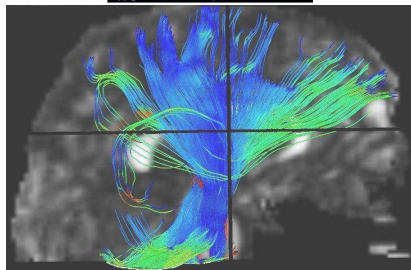
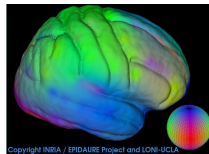
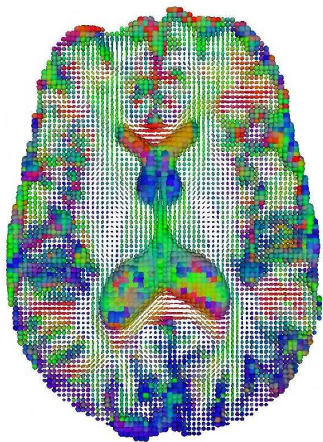
## Champ Vectoriel

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



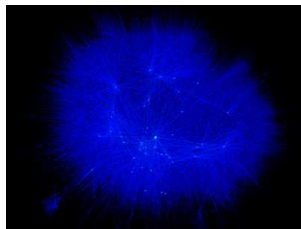
# Champ Tensoriel

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



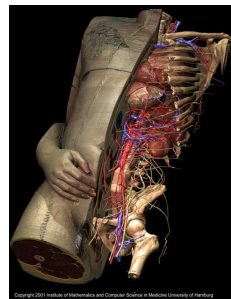
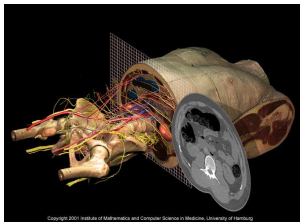
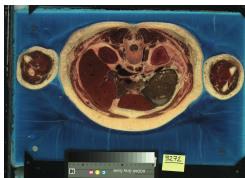
# Grand ensemble de Données

Les données physiques aquises sont souvent trop nombreuses !  
(Cartographies, Reseaux, ...)



# 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

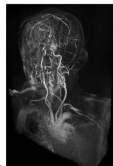
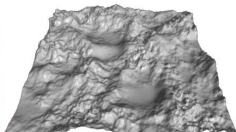
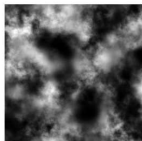
On visualise  $f : \begin{cases} \mathbb{R}^v & \rightarrow \mathbb{R}^d \text{ plongé dans } \mathbb{R}^n \\ u & \mapsto f(u) \end{cases}$

$d = 1$	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

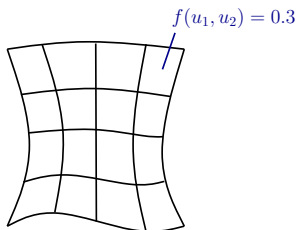


- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

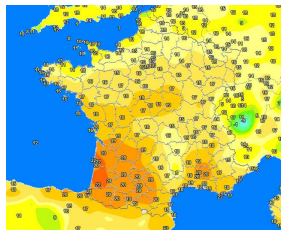
- 1** Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
- 2** Donnees scalaires surfaciques
  - **Introduction**
  - Marching-square
- 3** Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - Ray-Casting

# Notations

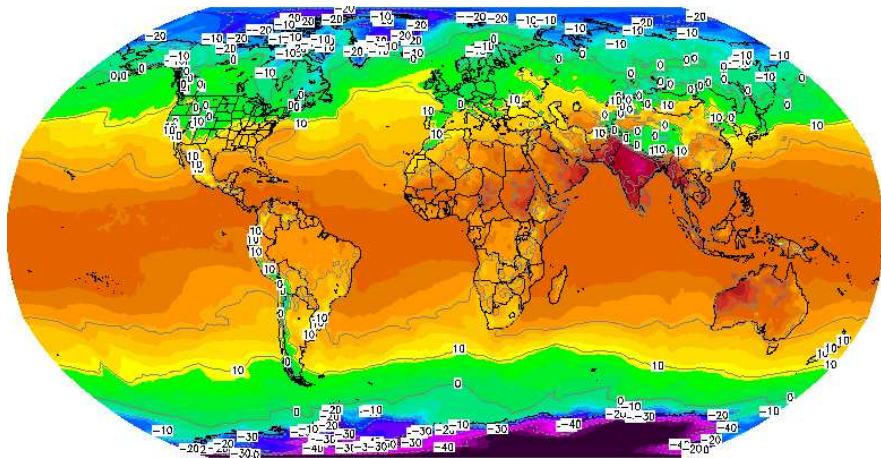
- Dans le cas de densités, on a :  $f(u_1, u_2) = I \in \mathbb{R}$ .
- Le plus généralement :  $f(x, y) = I$ .
- En discret :  $f(k_x \Delta x, k_y \Delta y) = I_{k_x, k_y}$ .



0.5	-0.2	1.1
1.5	0.5	0.9
-0.1	0.0	0.7



# Exemples

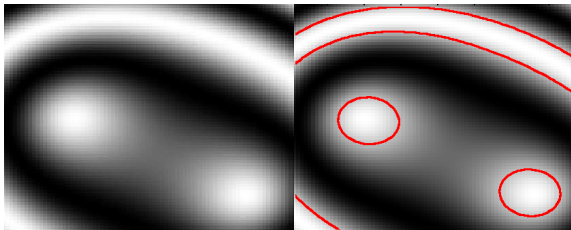


# Exemples



# But

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



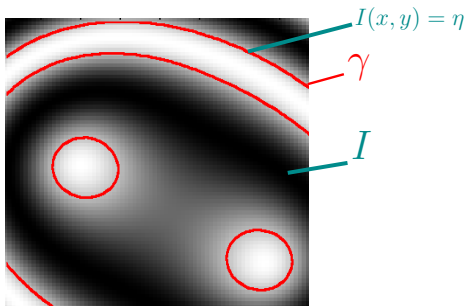


## Entré - sortie

- 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)



## Exemples - cas continu

Pour  $\eta = 0$  :

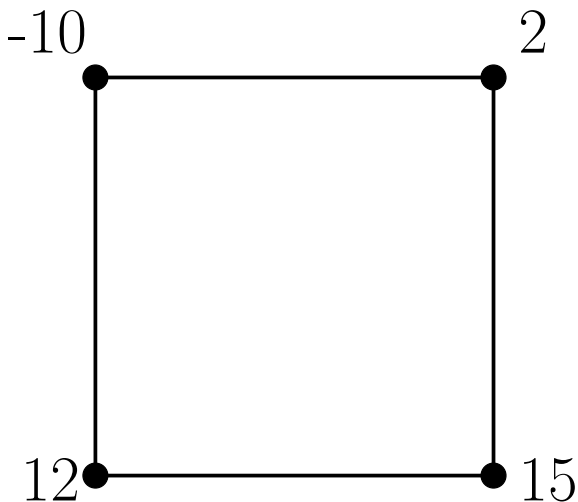
- $F_1 = 1$
- $F_2 = 0$
- $F_3 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 - r_0^2$
- $F_4 = F_3(x_0, y_0, r_0) + F_3(x_1, y_1, r_1)$
- $F_5 = F_3(x_0, y_0, r_0) \times F_3(x_1, y_1, r_1)$
- On peut définir une courbe par son equation implicite.
- Avantage : Topologie quelconque

- 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

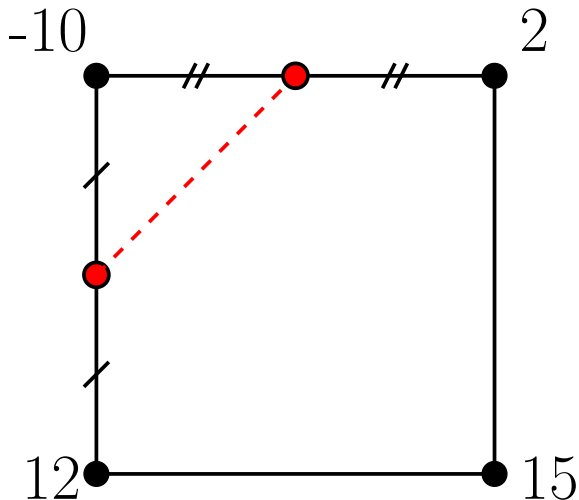
-61	-45	-42	-52	-72	-91	-99	-89
-17	8	13	-2	-34	-69	-94	-98
25	57	64	43	2	-45	-84	-99
51	87	94	71	25	-30	-76	-99
51	87	94	71	25	-30	-76	-99
25	57	64	43	2	-45	-84	-99
-17	7	13	-2	-34	-69	-94	-98
-61	-45	-42	-52	-72	-91	-99	-89

## Cas discret



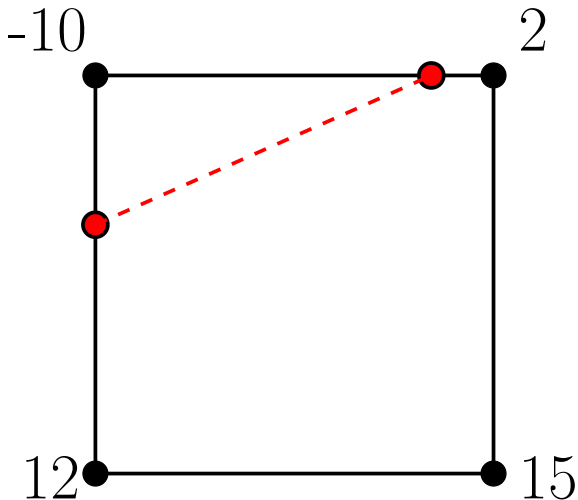
## Cas discret : Interpolation

- Milieu des segments



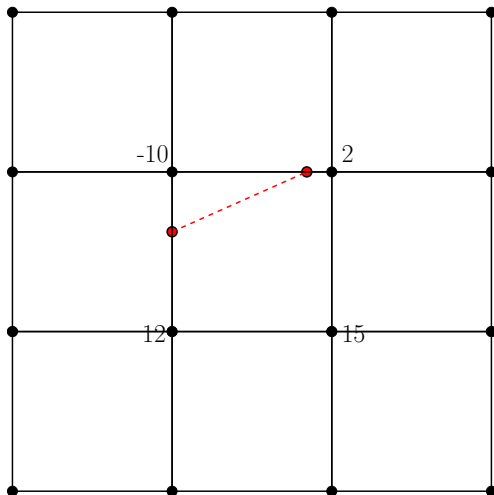
## Cas discret : Interpolation

### ■ Interpolation (bi)-linéaire



## Cas discret : Interpolation

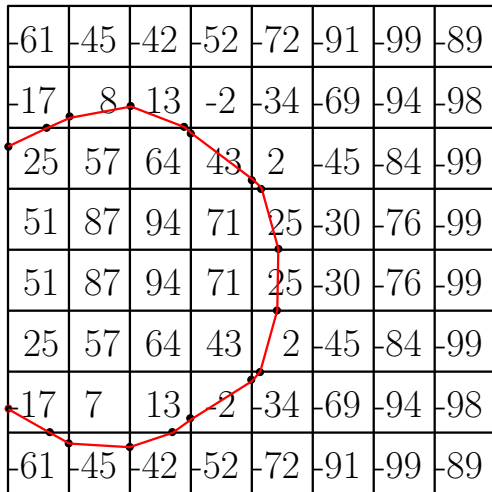
- Autres interpolations (cubique, spline, ...)





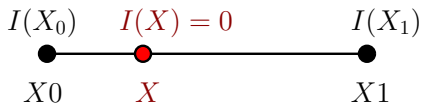
## Cas discret : résultat

- Application au cas précédent



## Rappel sur l'interpolation

- Recherche de zéro par interpolation linéaire



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

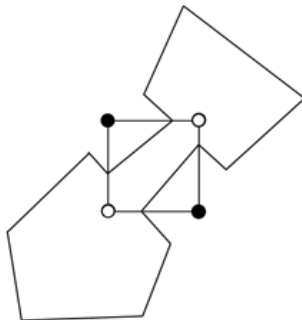
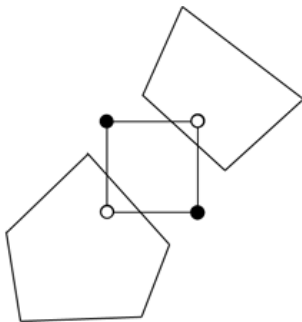
## Cas possibles

- 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

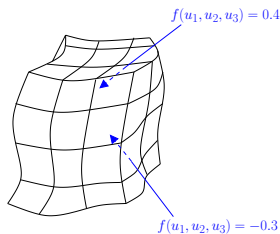
- Introduction
- Marching-square

## 3 Donnees scalaires volumiques

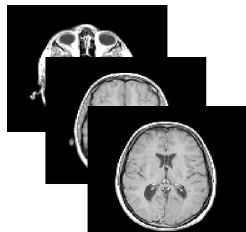
- Introduction
- Slicing
- Marching-cube
- Ray-Casting

# 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

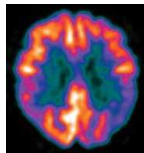


# Modalités d'imagerie médicale

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



- Nucléaire (PET,SPECT)
  - 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

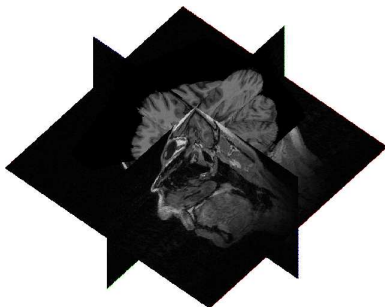
- Introduction
- Marching-square

## 3 Donnees scalaires volumiques

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

# 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  $\eta$  de la fonction  $I$  est

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

- On fait évoluer  $\eta$  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

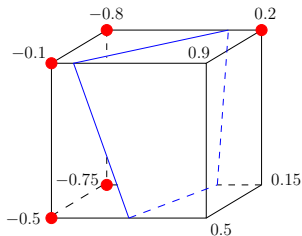
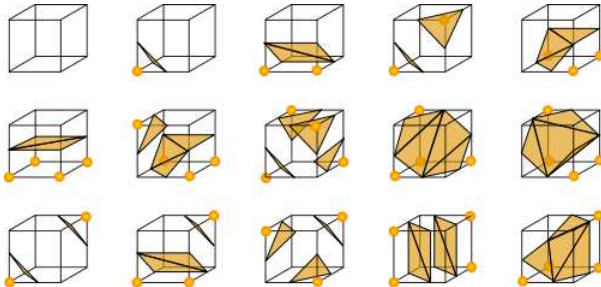


FIGURE: Exemple d'un cas



## Marching-Cube : Différents Cas

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

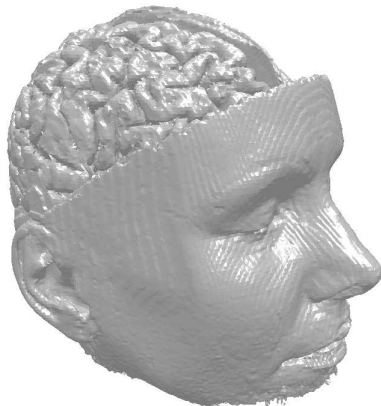


## Marching-cube : Avantage-Inconvénients

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

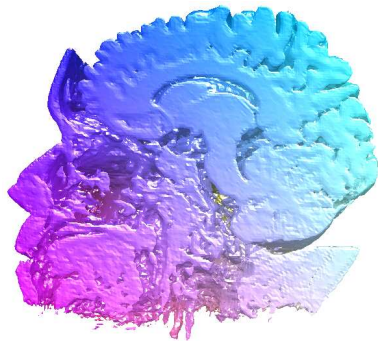
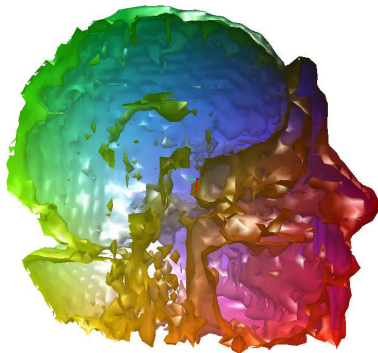
## Exemple d'isosurface : IRM

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



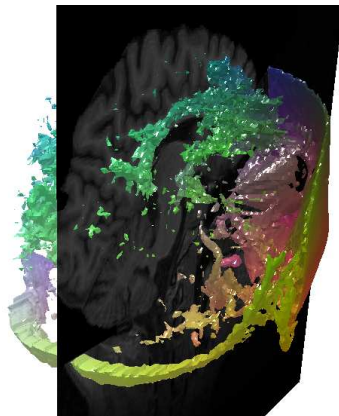
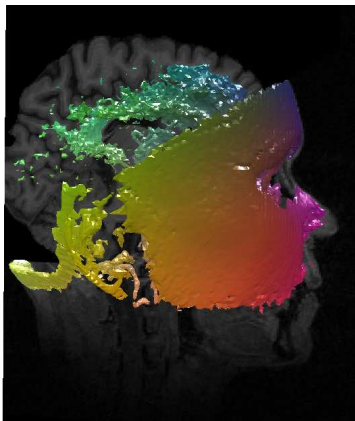
## Exemple d'isosurface : IRM

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



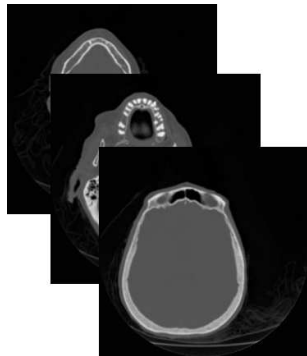
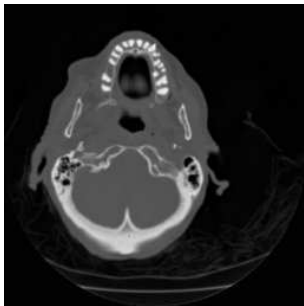
## Exemple d'isosurface : IRM

- Combine slicing + isosurface



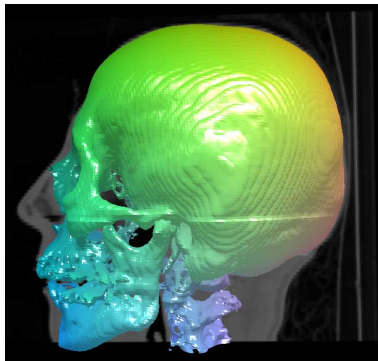
## Exemple d'isosurface : CT

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



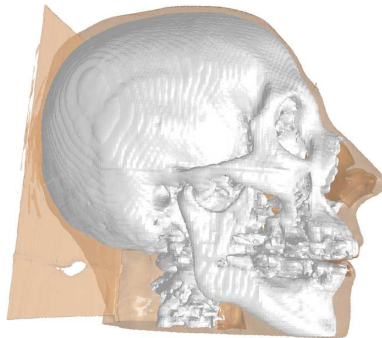
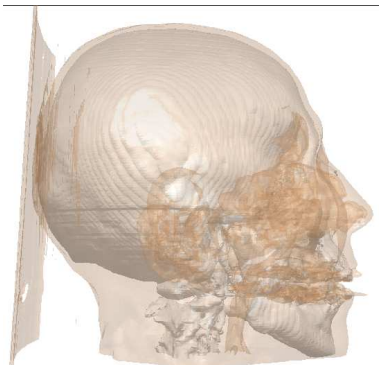
## Exemple d'isosurface : CT

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



## Exemple d'isosurface : CT

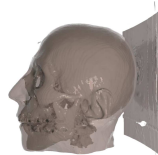
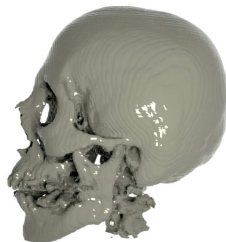
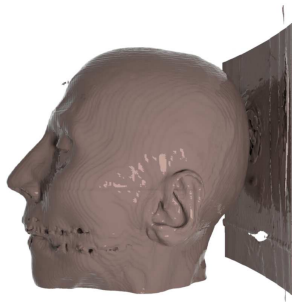
- Possibilité de cumule d'informations surfacique par transparence





## Exemple d'isosurface : CT

- Ajout d'un rendu, visualisation morphologique



## 1 Introduction

- Visualisation
- Exemples de visualisations
- Classification

## 2 Donnees scalaires surfaciques

- Introduction
- Marching-square

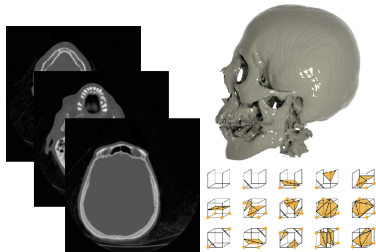
## 3 Donnees scalaires volumiques

- 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

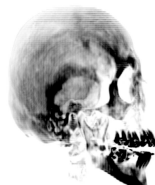
### *Approche surfacique*

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



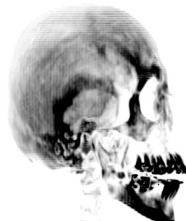
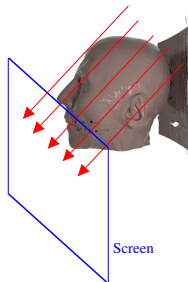
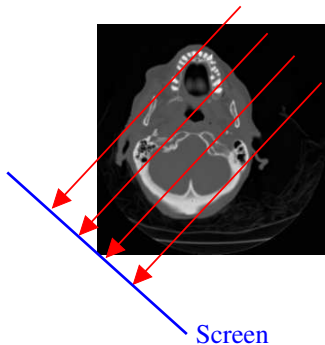
### *Approche volumique*

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



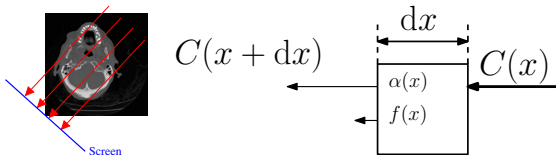
*Pipe-line classique* : Volumique dans un premier temps pour guider  
une visu surfacique.

- **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.



## Mise en equation

### Cas d'émission atténuée



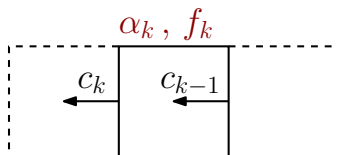
$$C(x + dx) = [1 - \alpha(x) dx] C(x) + \alpha(x) dx f(x)$$

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

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

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

## Version discrete



### Equation itérative discrète

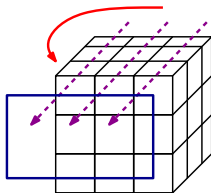
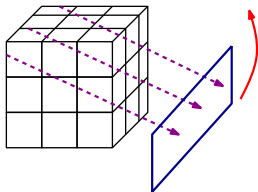
$$c_k = (1 - \alpha_k) c_{k-1} + \alpha_k f_k$$

- $\alpha_k, f_k$  sont fonctions de l'intensité  $I$  du voxel.
  - ex.  $\alpha_k = I_k/255, f_k = I_k$ .
  - Plus généralement, on définit des 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)



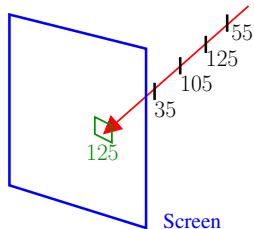
Facilement parallélisable.



## Cas particulier : MIP

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

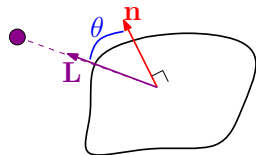
- ⊕ Rapide, simple.
- ⊕ Standard dans le monde médical.
- ⊖ Absence totale d'information de profondeur en statique.



## Eclairage

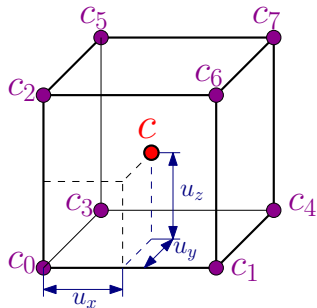
- Rappel : Éclairage diffus =  $\cos(\theta)$  , avec  $\cos(\theta) = \langle \mathbf{L}, \mathbf{n} \rangle$ .
- En un voxel donné, on approxime une surface de normale  $\mathbf{n} = \frac{\nabla I}{\|\nabla I\|}$ .
- En discret, une possibilité

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



## Rappel : interpolation trilinéaire

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



# 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>