

# Visualisation - Isosurface

M1 info  
damien.rohmer@imag.fr

Avril 2010

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

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

# 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

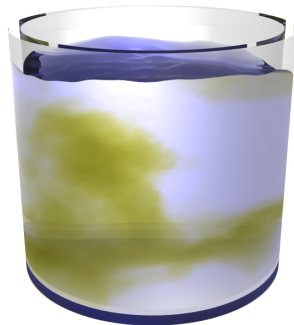
- champ scalaire (température, pression, ...)
- champ vectoriel (vitesse, orientation, ...)
- champ tensoriel (contraintes mécaniques, courbure, ...)

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
  - TP

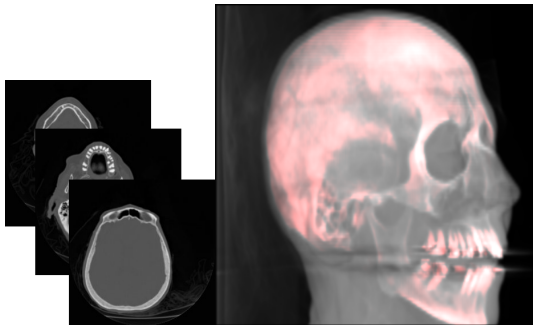
# Champ scalaire

Surface du domaine ou caracteristiques internes



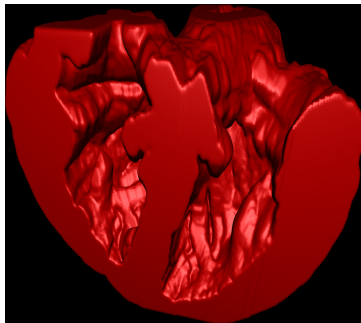
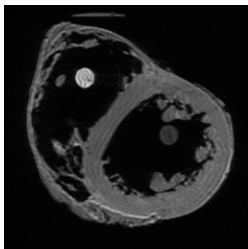
# Champ scalaire

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



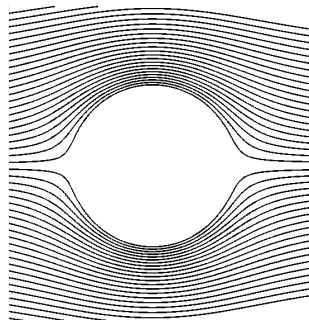
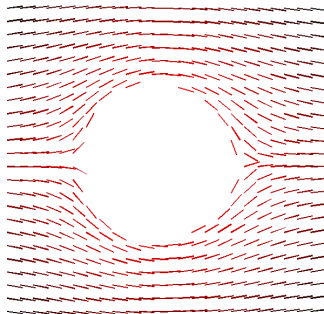
# Champ scalaire

Section 2D ou isosurfaces 3D



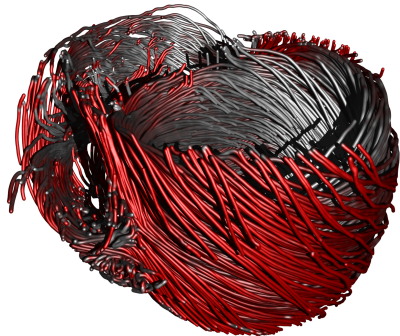
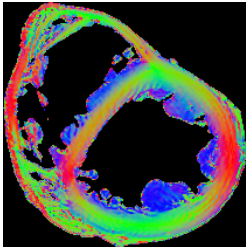
# Champ Vectoriel

## Vecteurs ou Trajectoires



# Champ Vectoriel

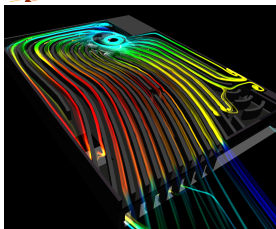
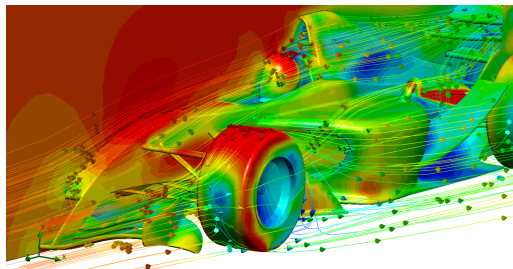
Vecteurs ou Trajectoires (les lignes de flux peuvent etre un objet reel)





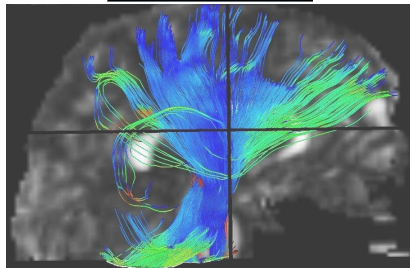
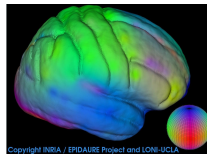
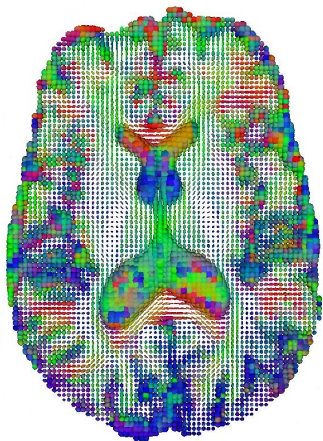
# Champ Vectoriel

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



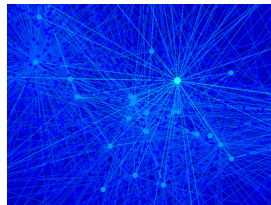
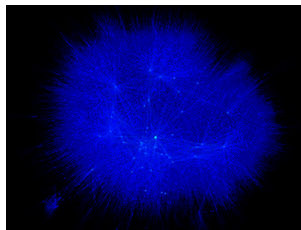
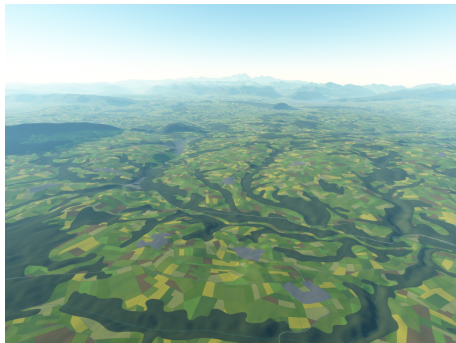
# Champ Tensoriel

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



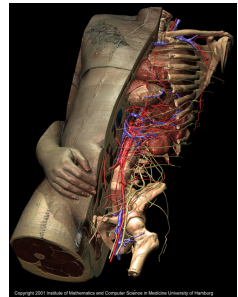
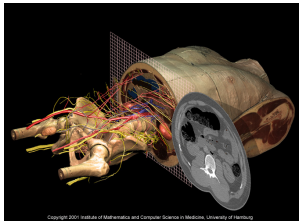
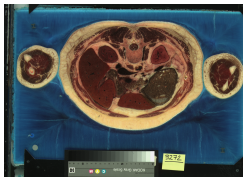
# Grand ensemble de Données

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
- TP

# Classification

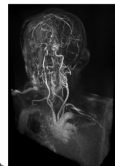
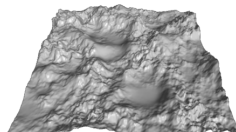
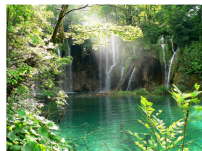
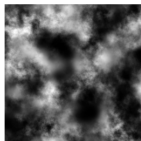
On visualise  $f : \begin{cases} \mathbb{R}^v & \rightarrow \mathbb{R}^d \text{ plongé dans } \mathbb{R}^n \\ u & \mapsto f(u) \end{cases}$

$d = 1$	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



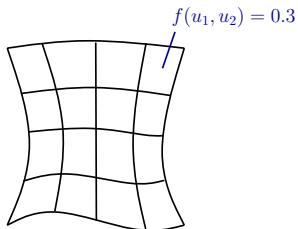
- 1 Introduction
  - Visualisation
  - Exemples de visualisations
  - Classification
  
- 2 Donnees scalaires surfaciques
  - Introduction
  - Marching-square
  
- 3 Donnees scalaires volumiques
  - Introduction
  - Slicing
  - Marching-cube
  - TP

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

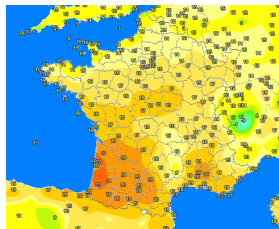


# Notations

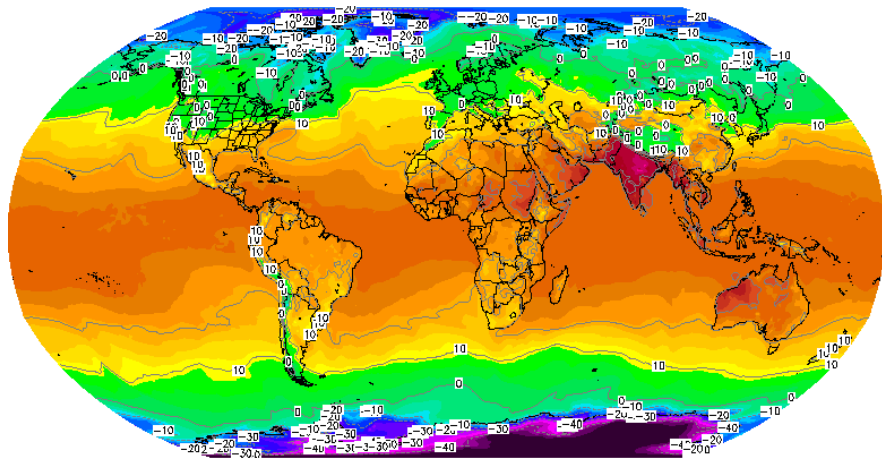
- Dans le cas de densités, on a :  $f(u_1, u_2) = I \in \mathbb{R}$ .
- Le plus généralement :  $f(x, y) = I$ .
- En discret :  $f(k_x \Delta x, k_y \Delta y) = I_{k_x, k_y}$ .



0.5	-0.2	1.1
1.5	0.5	0.9
-0.1	0.0	0.7



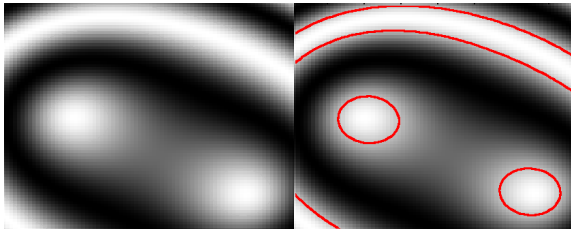
# Exemples





# But

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

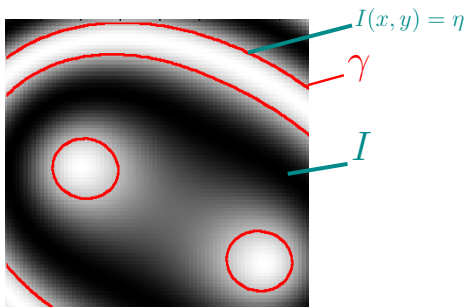


## Entré - sortie

- 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

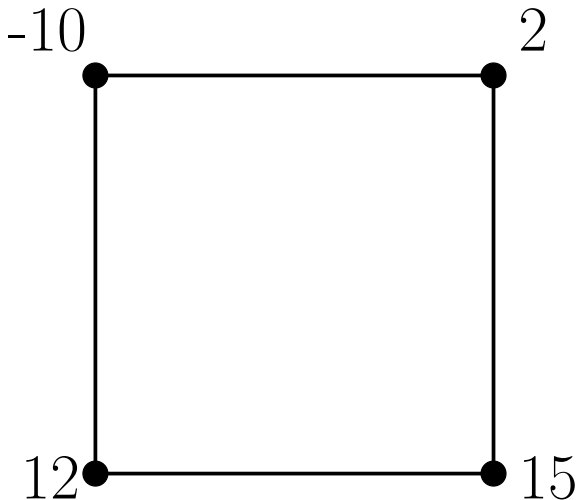
- Introduction
- Slicing
- Marching-cube
- TP

## 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

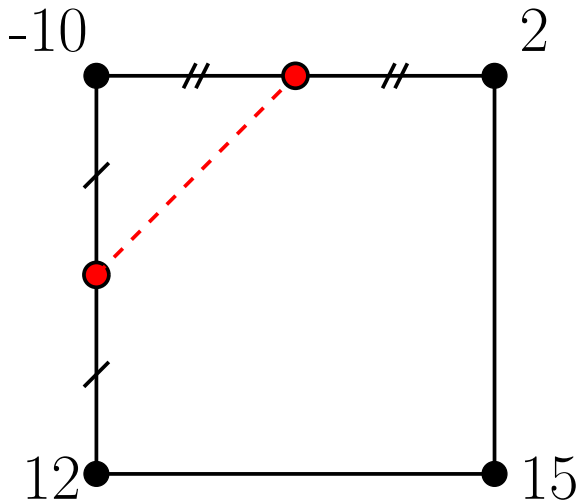


## Cas discret



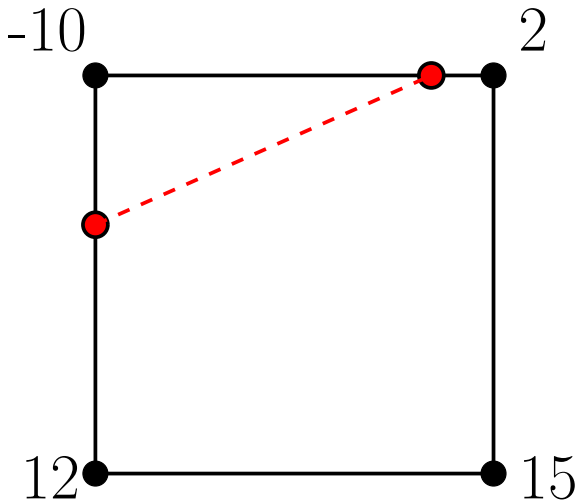
## Cas discret : Interpolation

- Milieu des segments



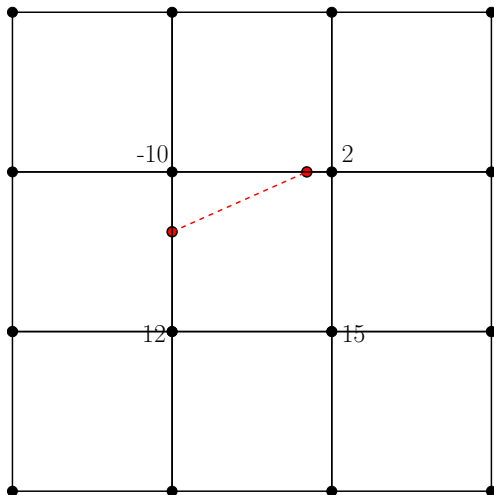
## Cas discret : Interpolation

### ■ Interpolation (bi)-linéaire



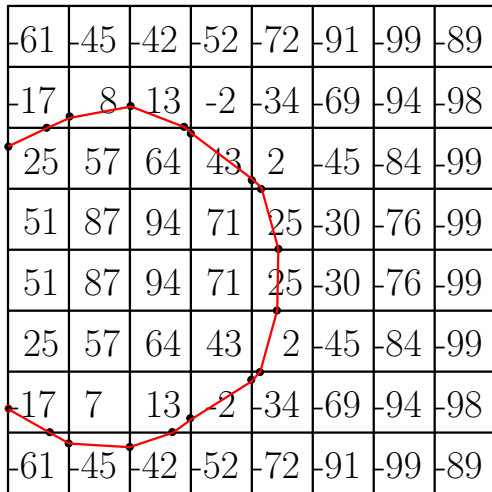
## Cas discret : Interpolation

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



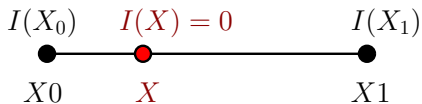
## Cas discret : résultat

- Application au cas précédent



## Rappel sur l'interpolation

- Recherche de zéro par interpolation linéaire



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

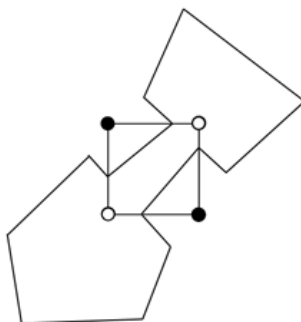
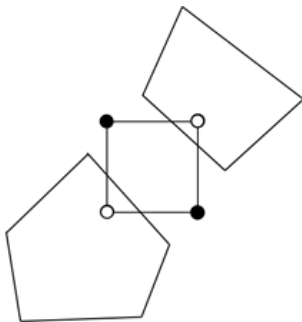
## Cas possibles

- 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
  - TP

## 1 Introduction

- Visualisation
- Exemples de visualisations
- Classification

## 2 Donnees scalaires surfaciques

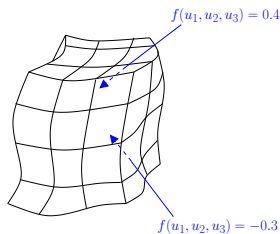
- Introduction
- Marching-square

## 3 Donnees scalaires volumiques

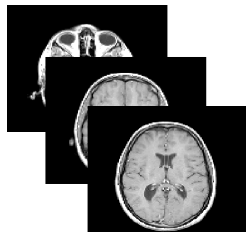
- Introduction
- Slicing
- Marching-cube
- TP

# 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

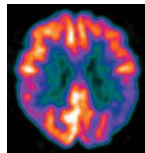


# Modalités d'imagerie médicale

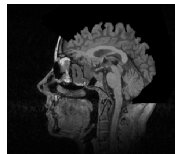
- Rayons X (CT)
  - Anatomique
  - Mesure d'atténuation (problème inverse)



- 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

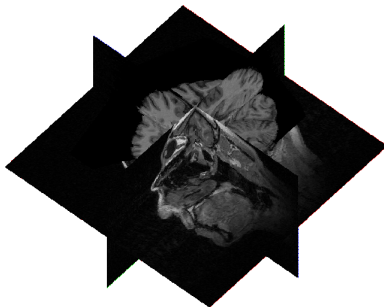
- Introduction
- Marching-square

## 3 Donnees scalaires volumiques

- Introduction
- **Slicing**
- Marching-cube
- TP

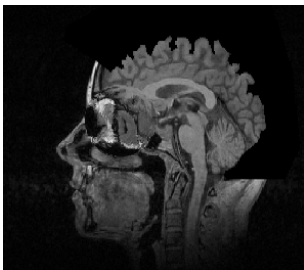
# Slicing

- 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**
- TP



# 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 ?

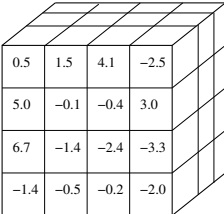
## Exemples

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

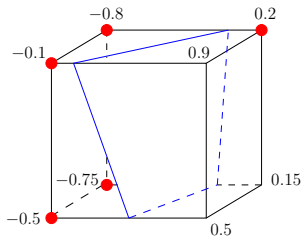
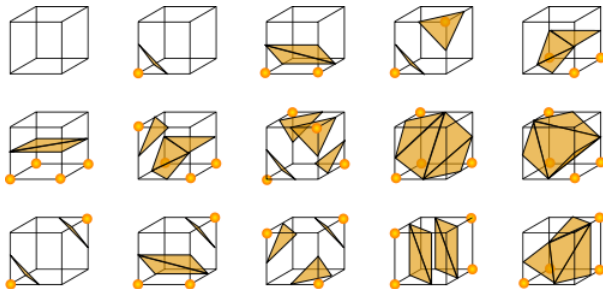


FIG.: Exemple d'un cas

## Marching-Cube : Différents Cas

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

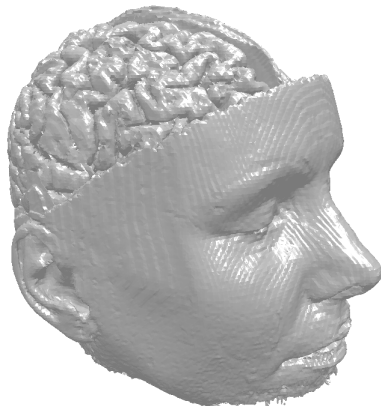
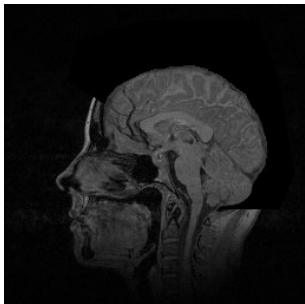


# Marching-cube : Avantage-Inconvénients

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

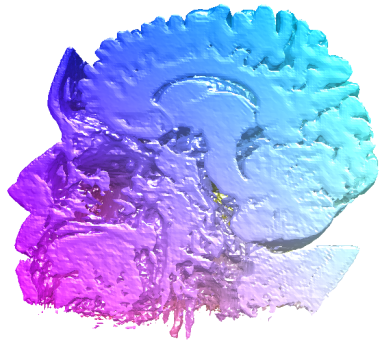
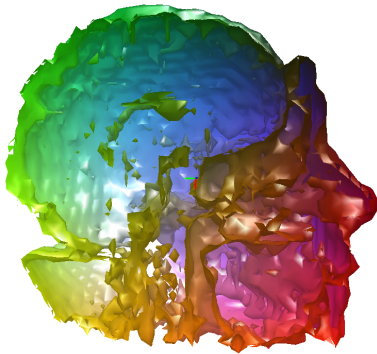
## Exemple d'isosurface : IRM

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



## Exemple d'isosurface : IRM

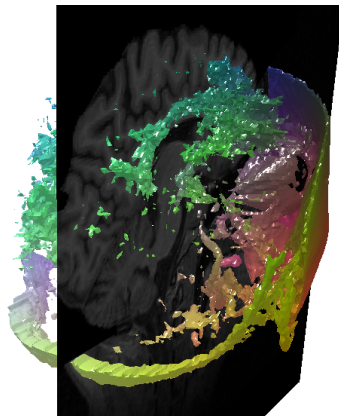
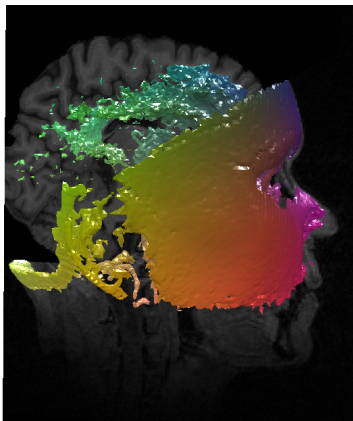
- Structures interne observable en coupant la surface.
- Valeurs aux frontières donne l'aspect du maillage.





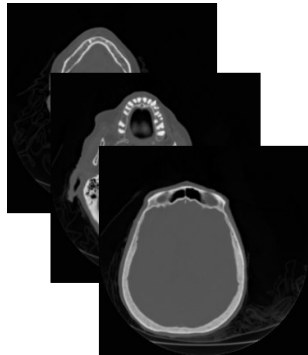
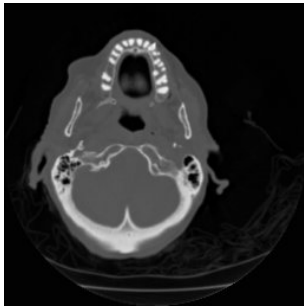
## Exemple d'isosurface : IRM

- Combine slicing + isosurface



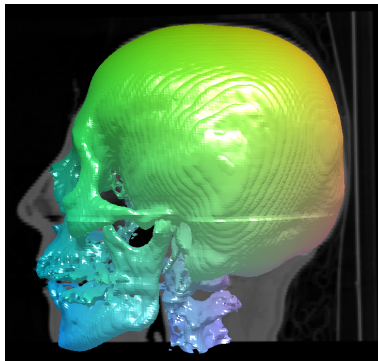
## Exemple d'isosurface : CT

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



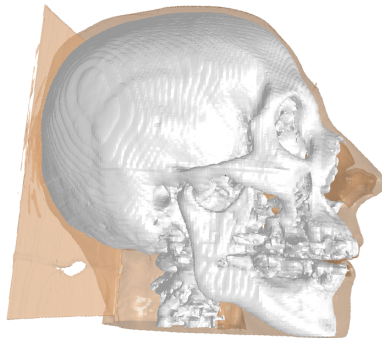
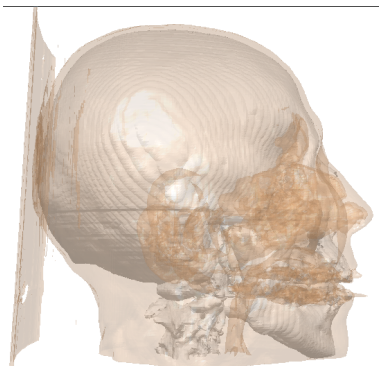
## Exemple d'isosurface : CT

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



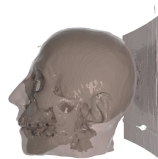
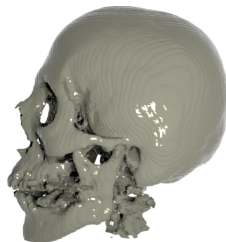
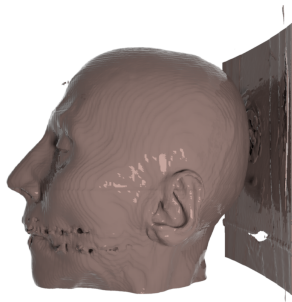
## Exemple d'isosurface : CT

- Possibilité de cumule d'informations surfacique par transparence



## Exemple d'isosurface : CT

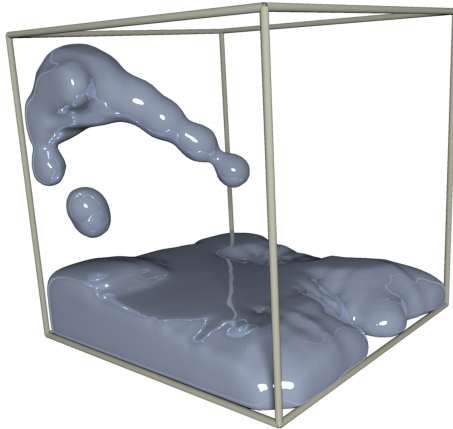
- Ajout d'un rendu, visualisation morphologique



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

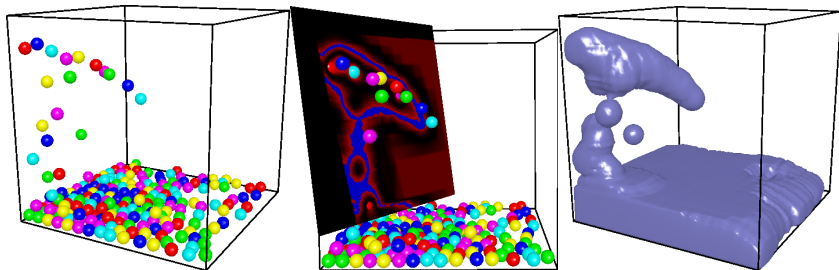
# But

- Animation d'une surface fluide



# Méthode

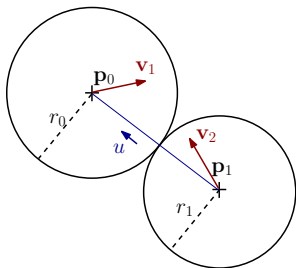
- 1 Animation d'un système de particules
- 2 Création d'un potentiel volumique autour des particules
- 3 Extraction de la surface par marching-cube





# 1 : Système de particules

- Sphères tombants sous la gravité.
- Non collision



Rappel :

- collision si :  $r_0 + r_1 > \|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0\|$
- nouvelle vitesse :

$$\begin{cases} \mathbf{v}'_1 = \mathbf{v}_1 + \frac{1}{m_1+m_2} \left[ m_2 \mathbf{v}_{2n} - \frac{1}{2} (m_1 + 3m_2) v_{1n} \right] \mathbf{u} \\ \mathbf{v}'_2 = \mathbf{v}_2 + \frac{1}{m_1+m_2} \left[ m_1 \mathbf{v}_{1n} - \frac{1}{2} (m_2 + 3m_1) v_{2n} \right] \mathbf{u} \end{cases}$$

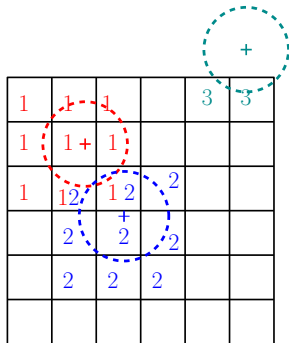
avec  $v_{1n} = \mathbf{v}_1 \cdot \mathbf{u}$  ;  $v_{2n} = \mathbf{v}_2 \cdot \mathbf{u}$

# 1 : Système de particules

- Détection de proximité : structure accélératrice.

Compromis entre

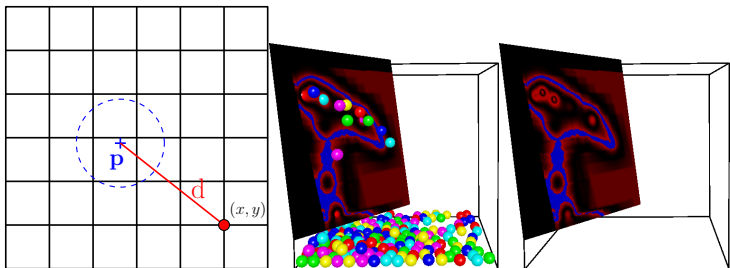
- Grille large : Tests nombreux.
- Grille fine : + de voxels à parcourir.



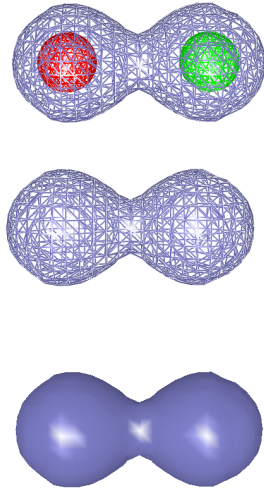
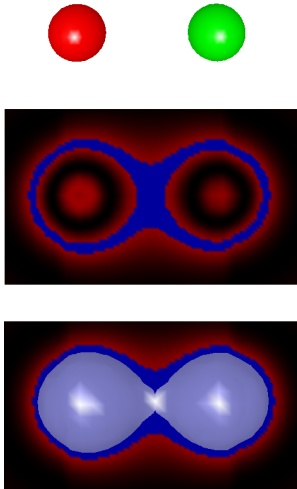
## 2 : Création du potentiel

- Exemple : Fonction de la distance  $d = \|(x, y) - \mathbf{p}\|$

$$F(x, y) = \sum_i \frac{1}{d(\mathbf{p}_i)^2}$$



## 3 : Extraction de l'isosurface



## 3 : Extraction de l'isosurface

