

Imagerie 3D (1)

Gérard Subsol

gerard.subsol@lirmm.fr

Avril 2019

1. Qu'est-ce qu'une image 3D

- a. Définition
- b. Systèmes d'acquisition
- c. Quelques applications médicales & industrielles
- d. Stockage et artefacts

2. Comment visualiser une image 3D ?

- a. Coupe & MPR
- b. Volume Rendering

3. Travaux pratiques

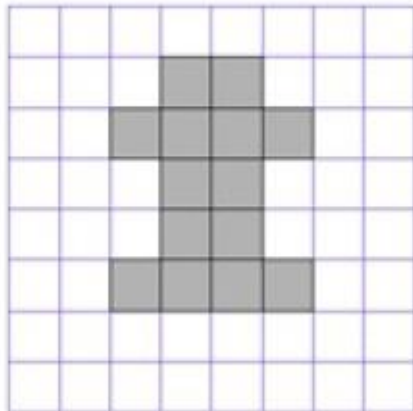
- a. Manipulation d'images 3D
- b. Lecture/écriture d'images 3D et Volume Rendering

Qu'est-ce qu'une image 3D ?

- Matrice en **3** dimensions et non plus en 2 dimensions.
- Représentées par un empilement d'images 2D (**coupes**)
- Notion d'**épaisseur** en plus de la largeur et de la longueur
- Pixel (*Picture Element*) → **Voxel** (*Volume Element*)
- $I=f(x,y,z)$ où I =intensité (ou une couleur)

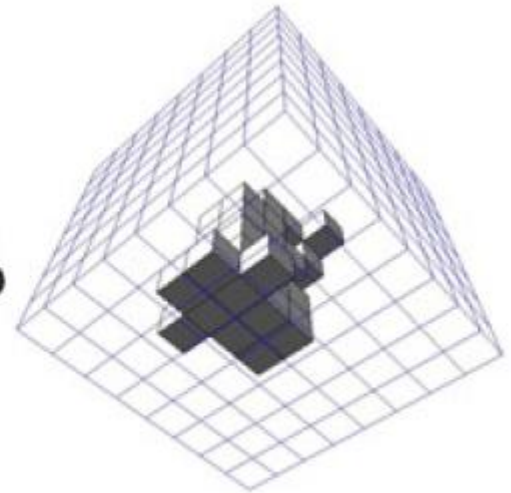
Pixel =

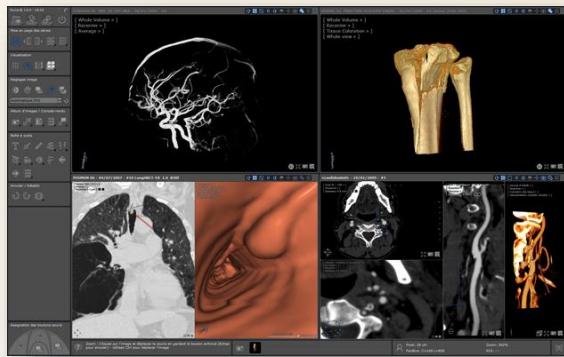
un point dans
une image 2D



Voxel =

un point dans
une image 3D





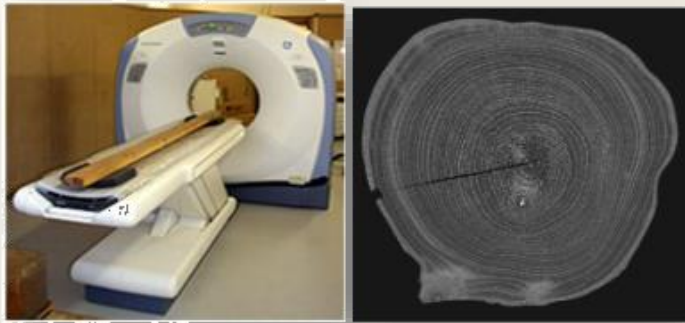
Intrasense



AnatoScope



IMAIOS



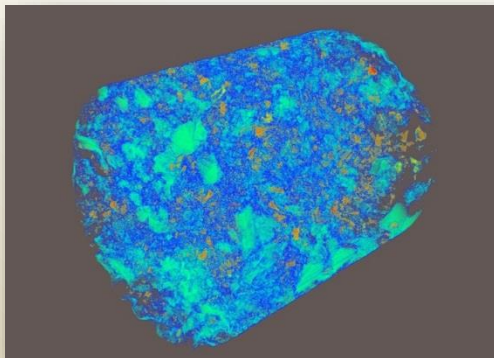
CIRAD



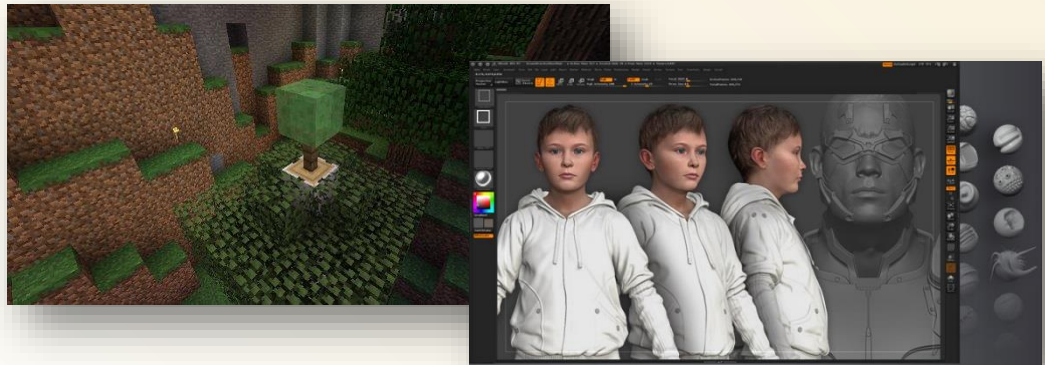
ISEM



CHU Montpellier



Voxaya

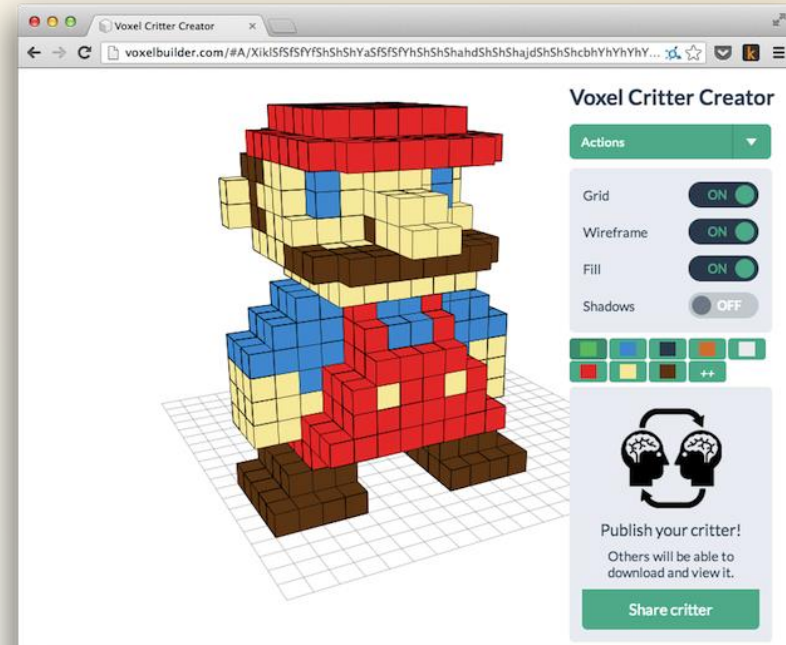
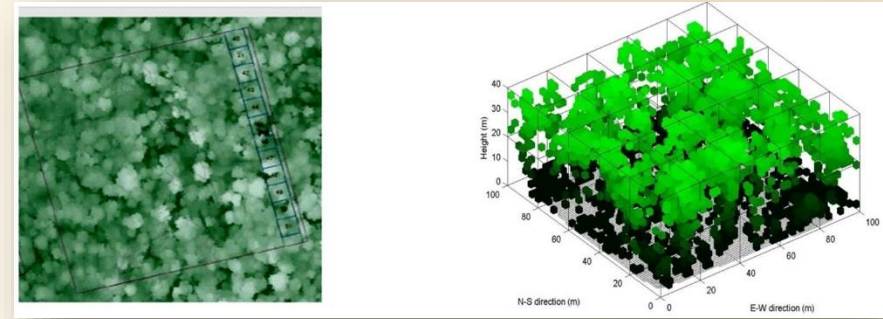


Jeu (Minecraft), simulation et infographie (Zbrush)

Comment peut-on fabriquer une image 3D ?

Par discrétisation volumique du monde réel ou virtuel

- Voxelisation d'acquisitions surfaciques
- Voxelisation de maillages 3D
- Création interactive à la « Minecraft »



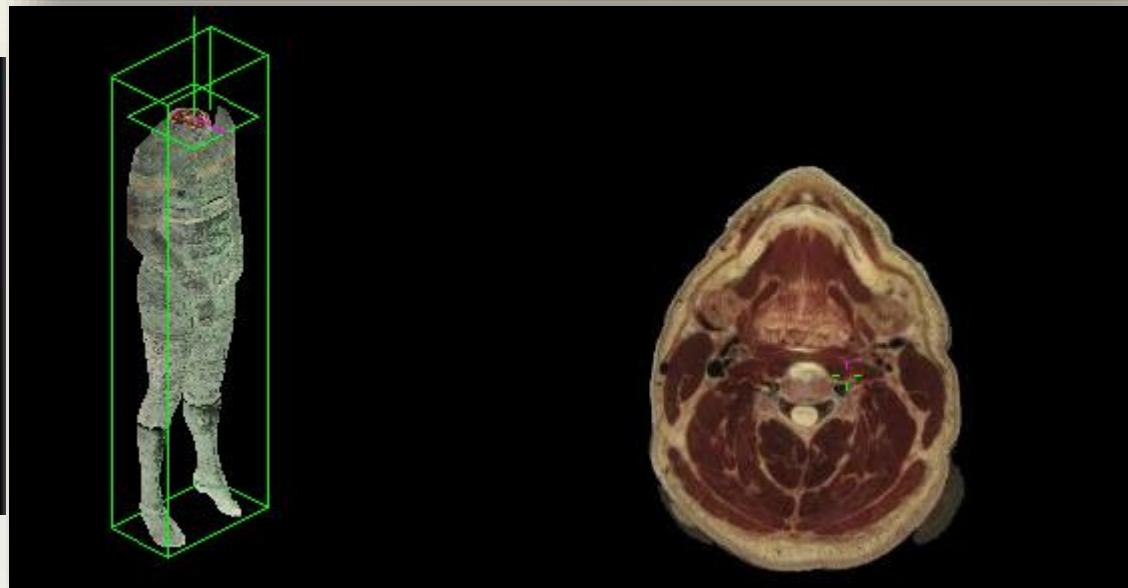
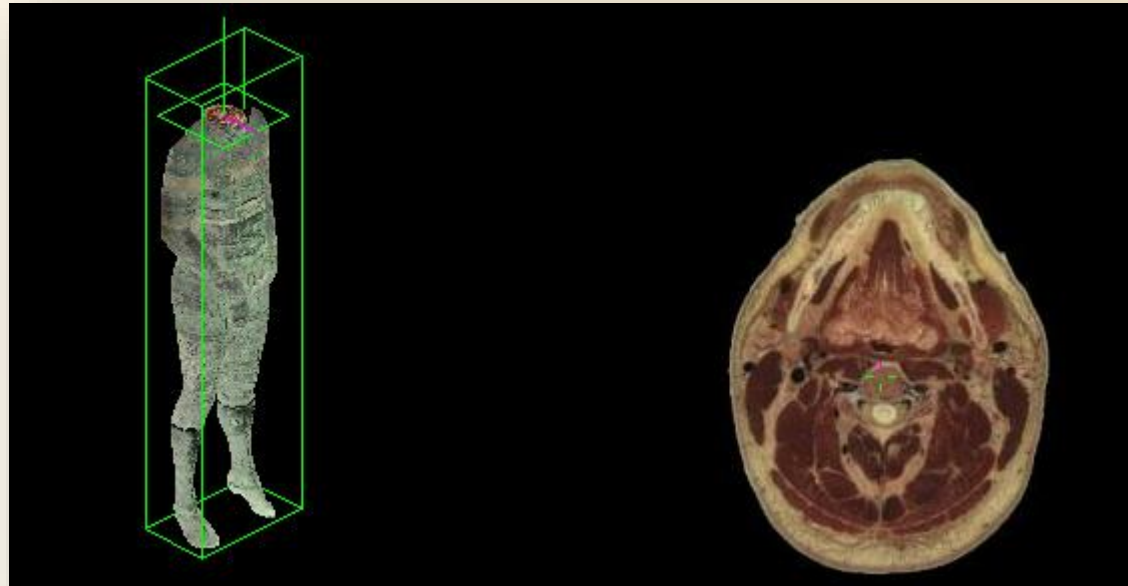
Comment peut-on fabriquer une image 3D?

En prenant des images (= coupes) et en les empilant !

Exemple : Visible Man (1994)

Un cadavre d'homme est découpé en tranches de 1 mm d'épaisseur → 15 Go de données

(vidéo)



<http://visiblehuman.epfl.ch/>



Computer Science Department
Peripheral Systems Lab.



Visible Human Server

[Home](#)

[Login](#)

[Register new user](#)

[Slice, Surface, and
Animation extraction](#)

[Real-time Slice
navigation](#)

[3D Anatomical
Structure Viewer](#)

[Combined 2D and
3D Anatomical
Visualization \(Beta
Version\)](#)

[Visible Human Video
Editor](#)

[Sample animations](#)

[Technology](#)

[Acknowledgements](#)

[About us](#)

The applet should appear in a separate window in

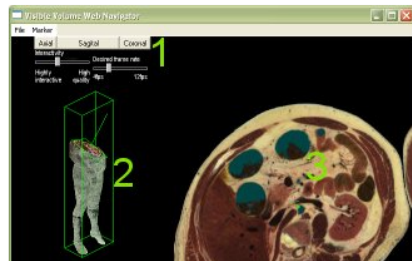
Troubleshooting

If the applet does not start or does not behave as

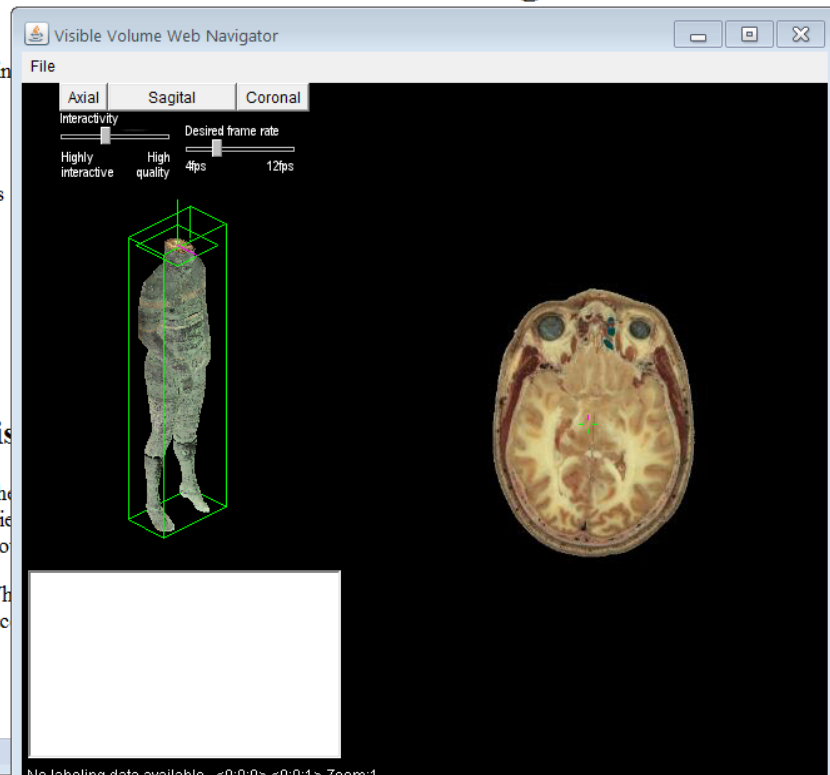
Basic instructions

- Français: [Mode d'emploi](#)
- English: [User advice sheet](#)
- Deutsch: [Benutzeranleitung](#)

How to navigate within the Vis



Interactive navigation



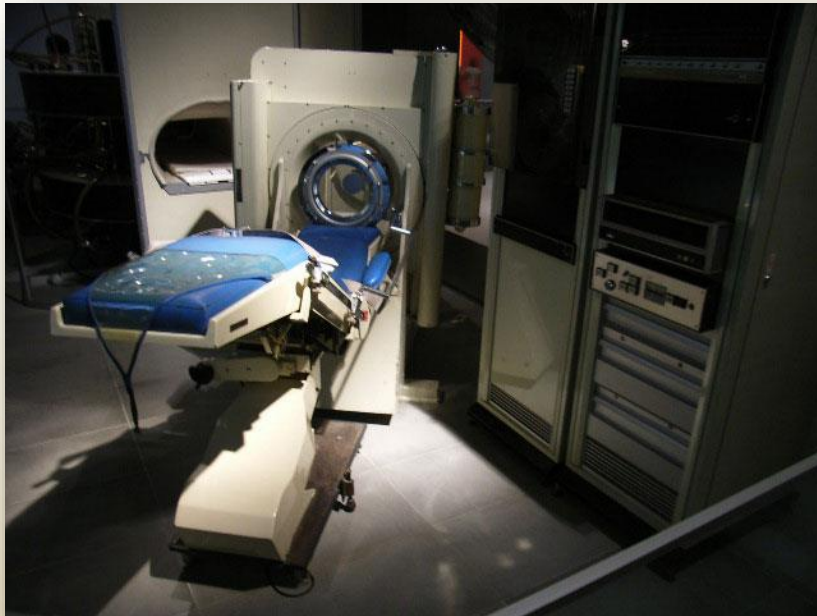
Comment peut-on fabriquer une image 3D?

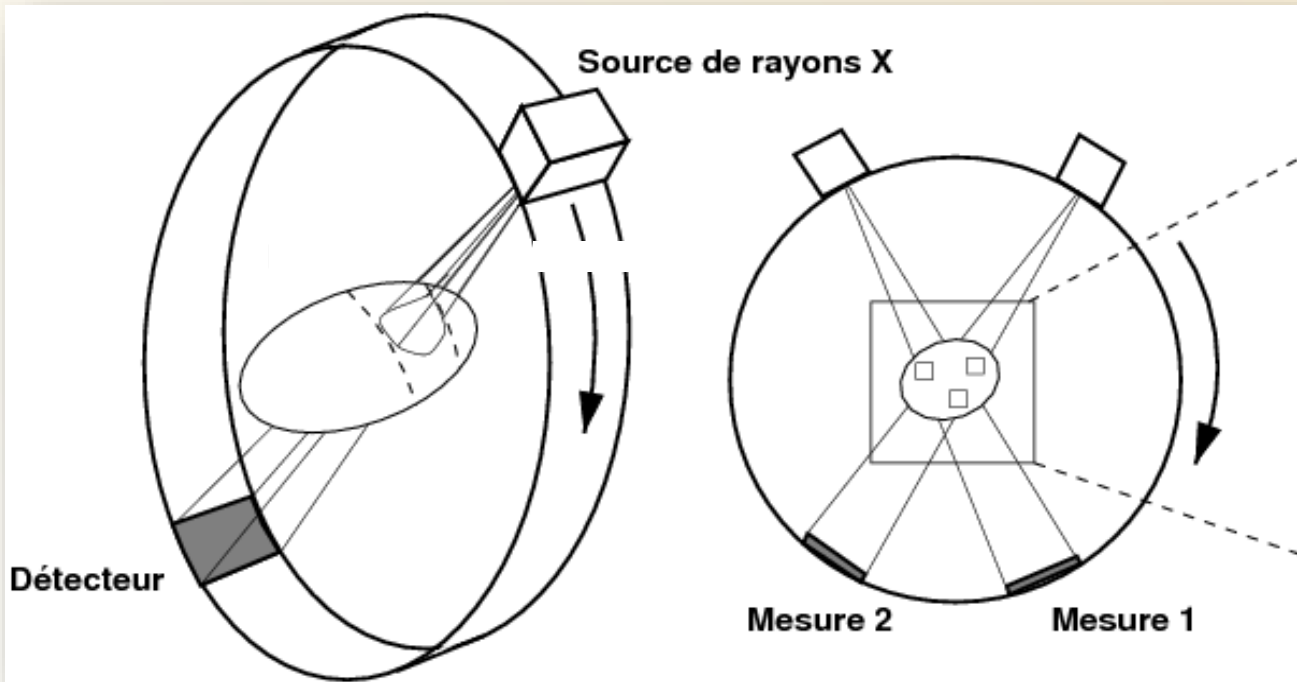
En faisant directement une acquisition volumique

Essentiellement avec des appareils d'imagerie médicale

Tomodensitométrie par rayons X (scanner médical ou Computed Tomography-Scan)

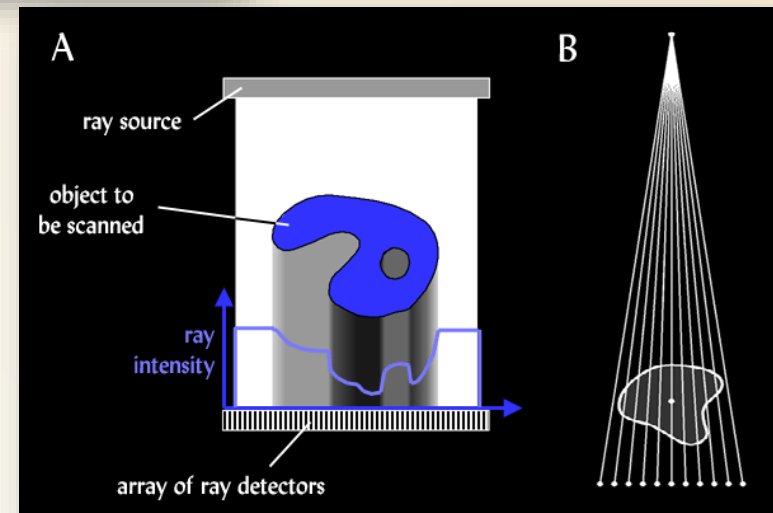
Mis au point en 1972 pour la société EMI par Godfrey Hounsfield d'après les travaux de Allan McLeod Cormack (tous deux Prix Nobel en 1979)





Principe : absorption du rayonnement X par les structures (les tissus denses comme l'os absorbent, les tissus mous laissent passer le rayonnement)

Prend plusieurs dizaines de radios (par ex., tous les 1°)



Problème : on a les projections intégrales sous plusieurs incidences retrouver les valeurs dans le volume :

reconstruction tomographique

Image originale :

Rapport **tumeur** / **fond**
 $= 10 / 1 = 10$

2	2	2	0
2	10	2	2
3	2	2	1
1	2	0	1

2 angles $\rightarrow 0^\circ$ et 90°
intégration des absorptions

6

16

8

4

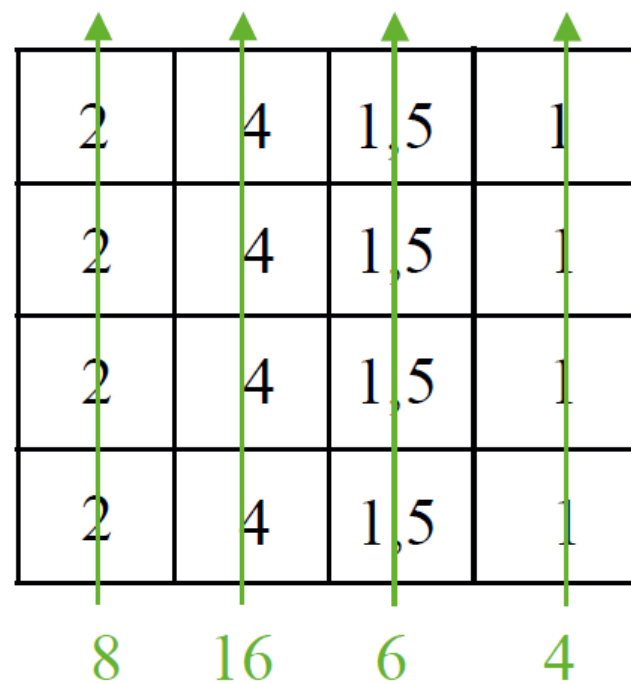
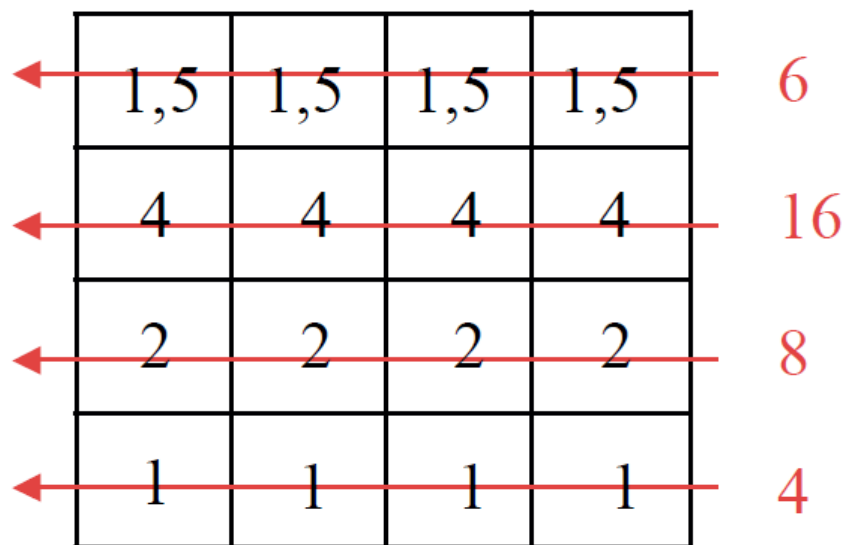
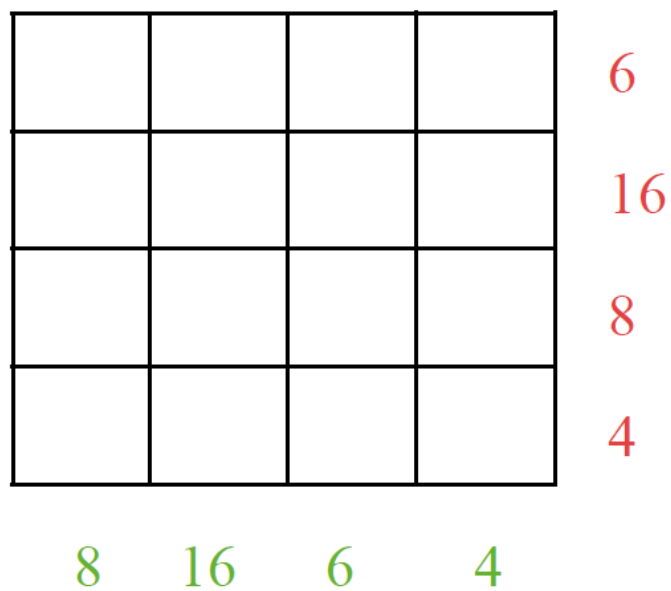
8

16

6

4

Pour résoudre le problème inverse : ex. *méthode de rétroprojection*



←	1,5	1,5	1,5	1,5	6
←	4	4	4	4	16
←	2	2	2	2	8
←	1	1	1	1	4

	↑	↑	↑	↑	
	2	4	1,5	1	
	2	4	1,5	1	
	2	4	1,5	1	
	2	4	1,5	1	
	8	16	6	4	

1,75	2,75	1,5	1,25
3	4	2,75	2,5
2	3	1,75	1,5
1,5	2,5	1,25	1

2	2	2	0
2	10	2	2
3	2	2	1
1	2	0	1

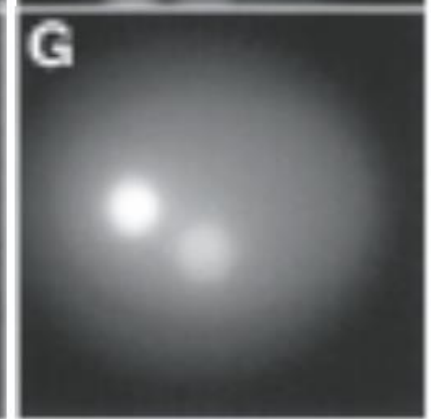
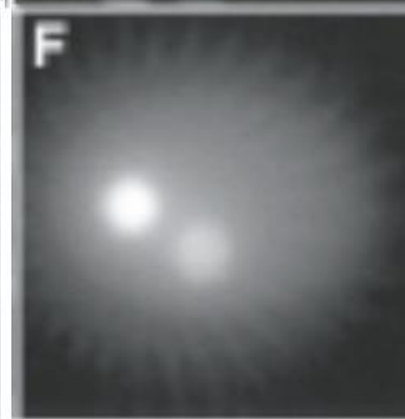
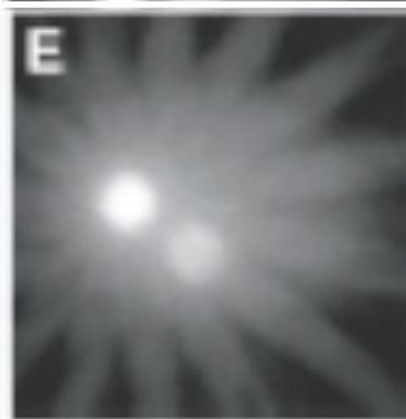
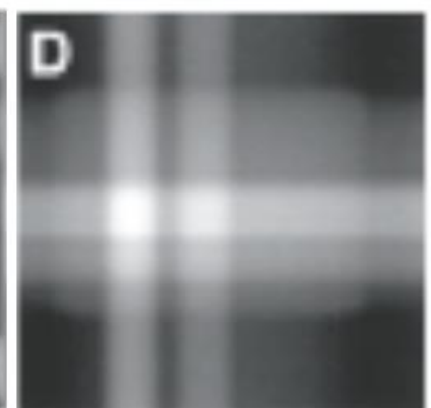
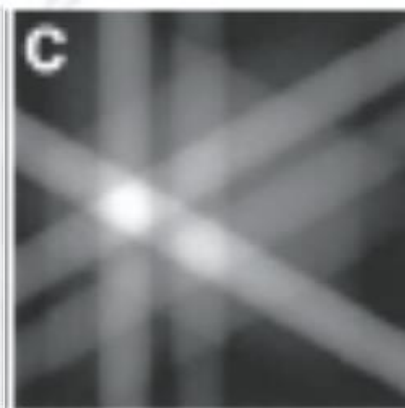
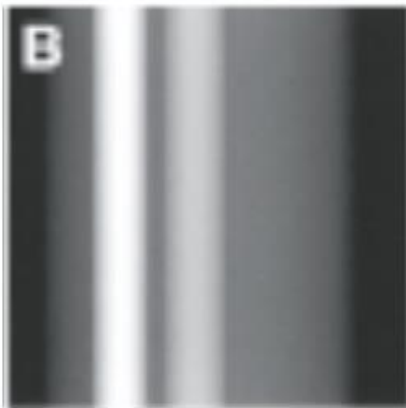
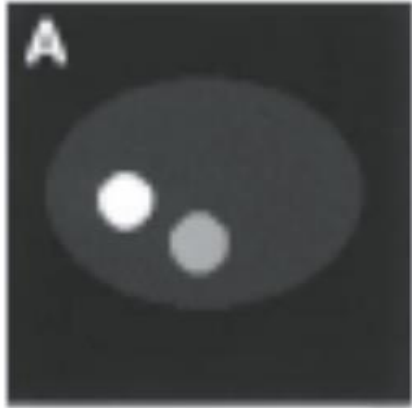
Perte de la dynamique de l'image

image originale

1

3

4



16

32

64

- Artefact en étoile du fait du nombre limité de projections
- Pas la solution exacte qui est donnée par la *transformée de Radon*
- Améliorations : rétroprojection filtrée (filtre pour résultat exact + utilisation de Fourier + modélisation de l'acquisition et du signal...)

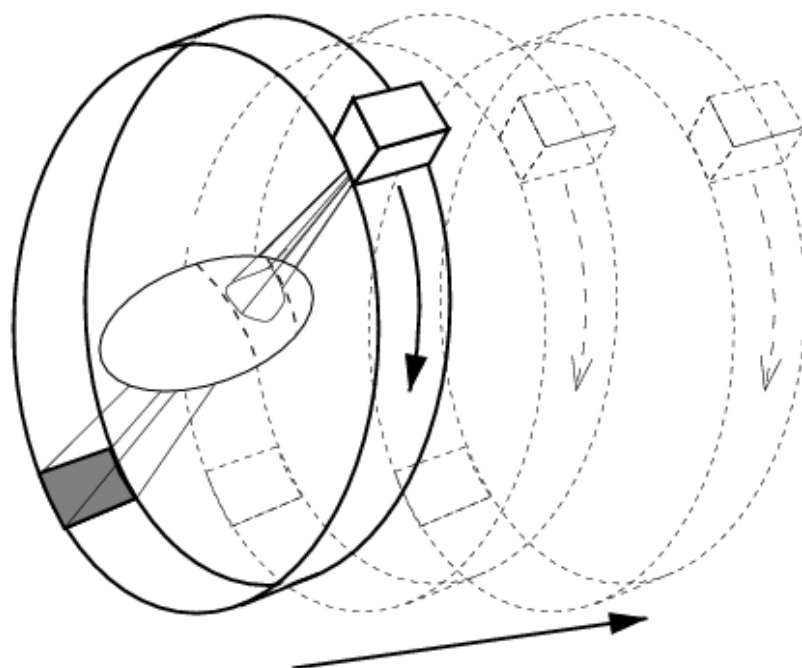
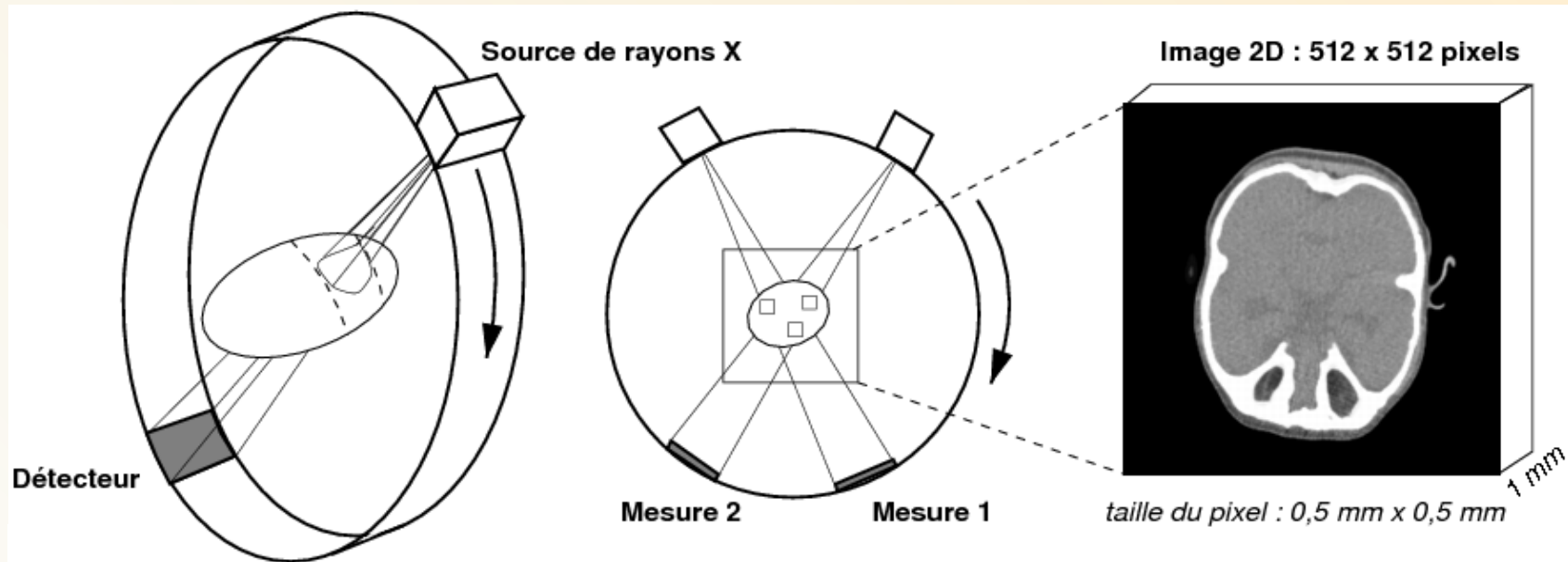
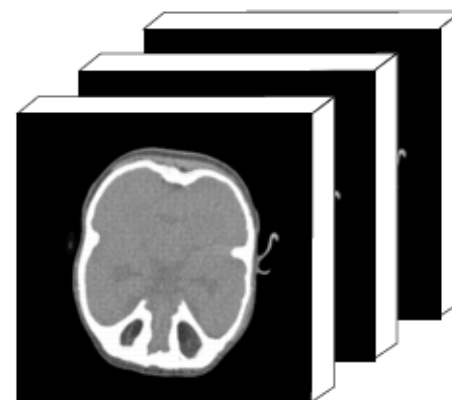


Image 3D : 512 x 512 x 100 voxels



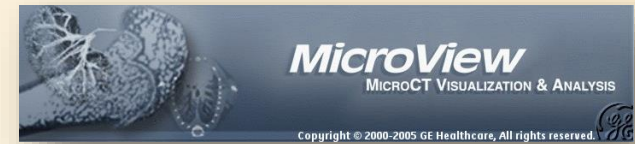
taille du voxel : 0,5 mm x 0,5 mm x 1 mm

Résolution typique :

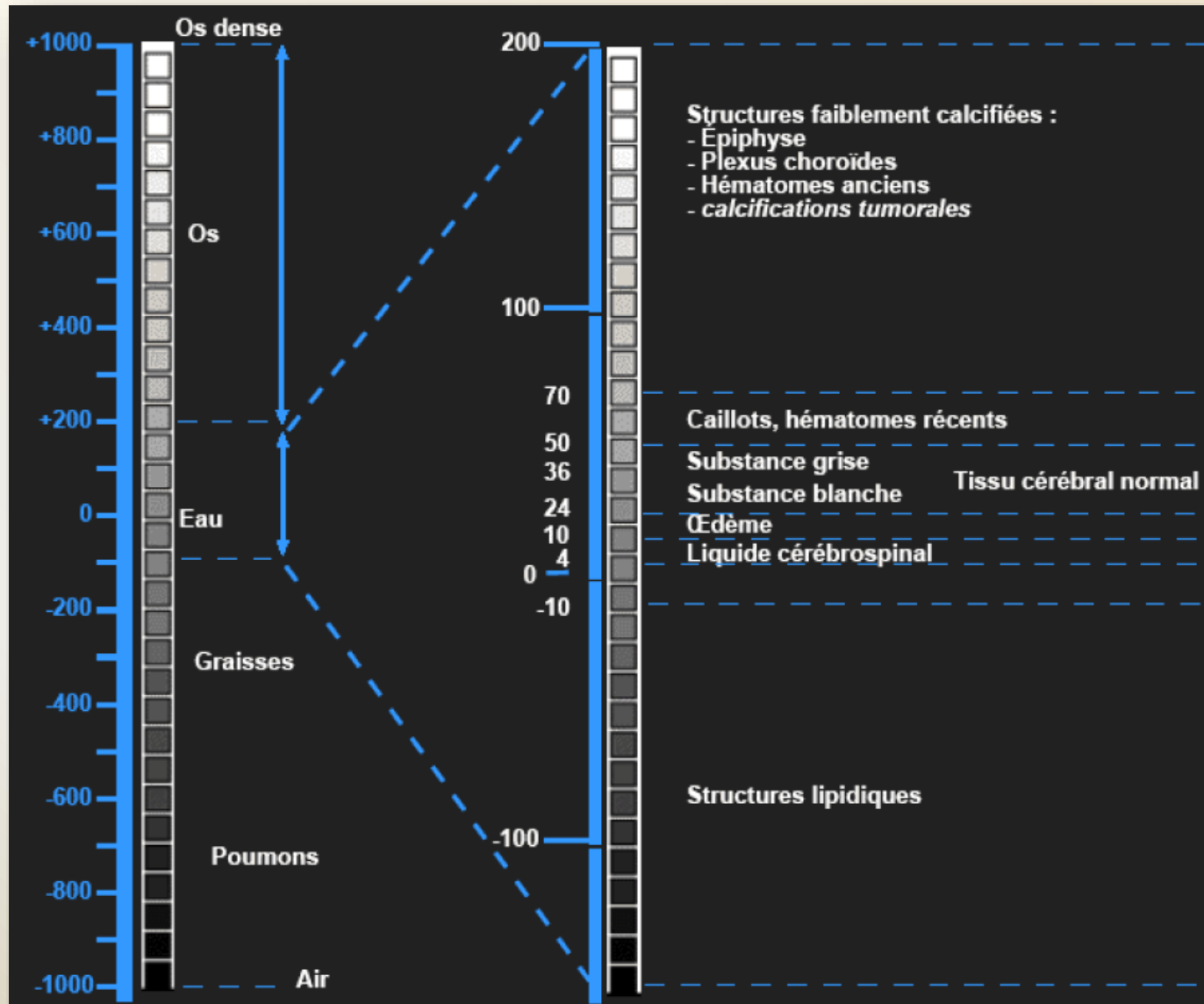
- **clinique** : 512 x 512 x plusieurs centaines de coupes
0,1 mm x 0,1 mm x 1 mm
- **μ-scanner** : 2048 x 2048 x plusieurs milliers de coupes
10-20 μm
- **synchrotron** : résolution inférieure au μm



- Intensité/densité codée sur 12 bits
- Echelle absolue de Hounsfield



MANIX



Comment peut-on fabriquer une image 3D?

En faisant directement une acquisition volumique

Imagerie par Résonance Magnétique



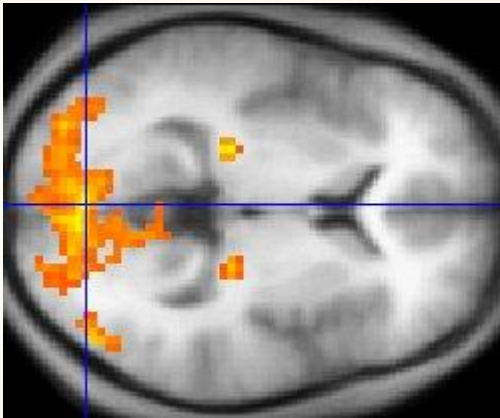
1973-77 mise au point par Paul Lauterbur et Peter Mansfield (tous deux Prix Nobel en 2003)

Principe :

- Atome hydrogène (=proton) très abondant dans les tissus biologiques mous (eau)
- Aimant supraconducteur → champ magnétique stable et puissant qui aligne les moments magnétiques des protons
- Champ magnétique oscillant fait basculer les moments magnétiques.
- Interruption du champ oscillant → les moments magnétiques retrouvent la direction du champ magnétique initial → émission d'un signal oscillant détecté par une antenne → mesure du temps pour retrouver leur état premier : *temps de relaxation T1*.
 - Si tissu « dur » comme os ou très agitée comme LCR, T1 est grand
 - Si graisse ou substance blanche, T1 est faible
- On peut aussi mesurer une autre onde → temps de relaxation T2
 - Eau et œdème en hyper-signal
- Ajout d'un gradient directionnel suivant les 3 axes sur le champ magnétique de base → la relaxation des protons est modifiée par la variation du champ magnétique. Des techniques de traitement du signal utilisant les algorithmes de transformées de Fourier rapides permettent alors de localiser l'origine du signal.
- Nombreux réglages possibles (TR=temps de répétition, TE=temps d'écho...)

IRM fonctionnelle :

La méthode la plus utilisée actuellement est celle basée sur l'aimantation de l'hémoglobine contenue dans les globules rouges du sang. L'hémoglobine se trouve sous deux formes :



- les globules rouges **oxygénés** par les poumons contiennent de l'oxyhémoglobine (molécule non active en IRM) ;
- les globules rouges **désoxygénés** par le métabolisme des tissus contiennent de la désoxyhémoglobine (active en IRM car fortement paramagnétique).

En suivant la perturbation du signal IRM émis par cette molécule, il est donc possible d'observer l'afflux de sang oxygéné, qui chasse le sang désoxygéné et donc de suivre le fonctionnement de l'organe.

Taille du voxel typique :

- **clinique** : 512 x 512 x plusieurs dizaines de coupes
1 mm x 1 mm x 1 mm
- **μ -IRM** : 512 x 512 x plusieurs centaines de coupes
40-100 μ m

Intensité codée sur 8-12 bits

Pas d'échelle absolue !



Comment peut-on fabriquer une image 3D ?

En faisant directement une acquisition volumique

Echographie 3D



Comment peut-on fabriquer une image 3D ?

En faisant directement une acquisition volumique

Médecine nucléaire

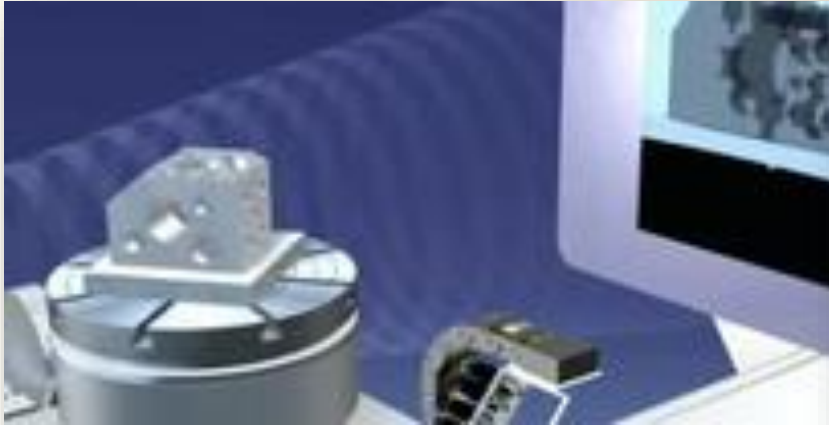
Cette modalité d'imagerie fonctionnelle in vivo consiste en l'administration d'un traceur radioactif au patient permettant sa détection externe.

Ce sont les scintigraphies (émission de rayonnements gamma) ou les TEP (Tomographies d'émission de positons).

Le principe de reconstruction est le même que pour le scanner X.



L'imagerie 3D n'est pas que dans le domaine (bio)-médical... mais aussi industriel...



- Contrôle qualité : contrôle d'assemblage, comparaison fabrication/CAO, analyse des défauts internes
- Ingénierie inverse
- Utilisation de μ -scan dédiés, voire de η -scan avec plus de puissance pour traverser les métaux
- Analyse de produits alimentaires
- Etude du patrimoine (momies)



Engine



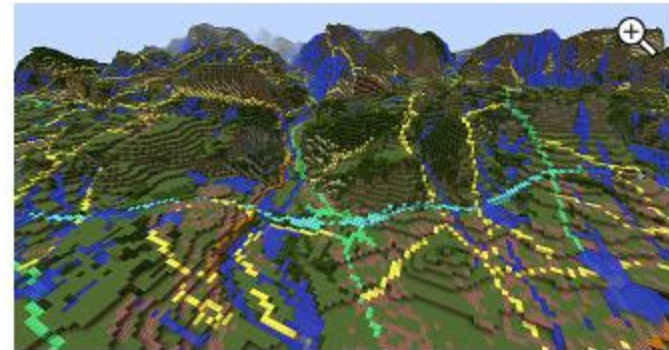
orange

L'imagerie 3D n'est pas que dans le domaine (bio)-médical... mais aussi...

GB geology with Minecraft

Inspired by the [Ordnance Survey](#) (OS), BGS has reproduced the 2D geology of mainland Great Britain and surrounding islands within the world of Minecraft. This map shows the OS map data on the surface and the rough position of real geology beneath, repeated down to the bedrock.

In reality the geology varies with depth, like cake layers, and BGS is working on representing the arrangement of the rocks and sediments in the form of a [3D geological model](#). Watch this space!



OS data above ground; BGS data below.

Requirements

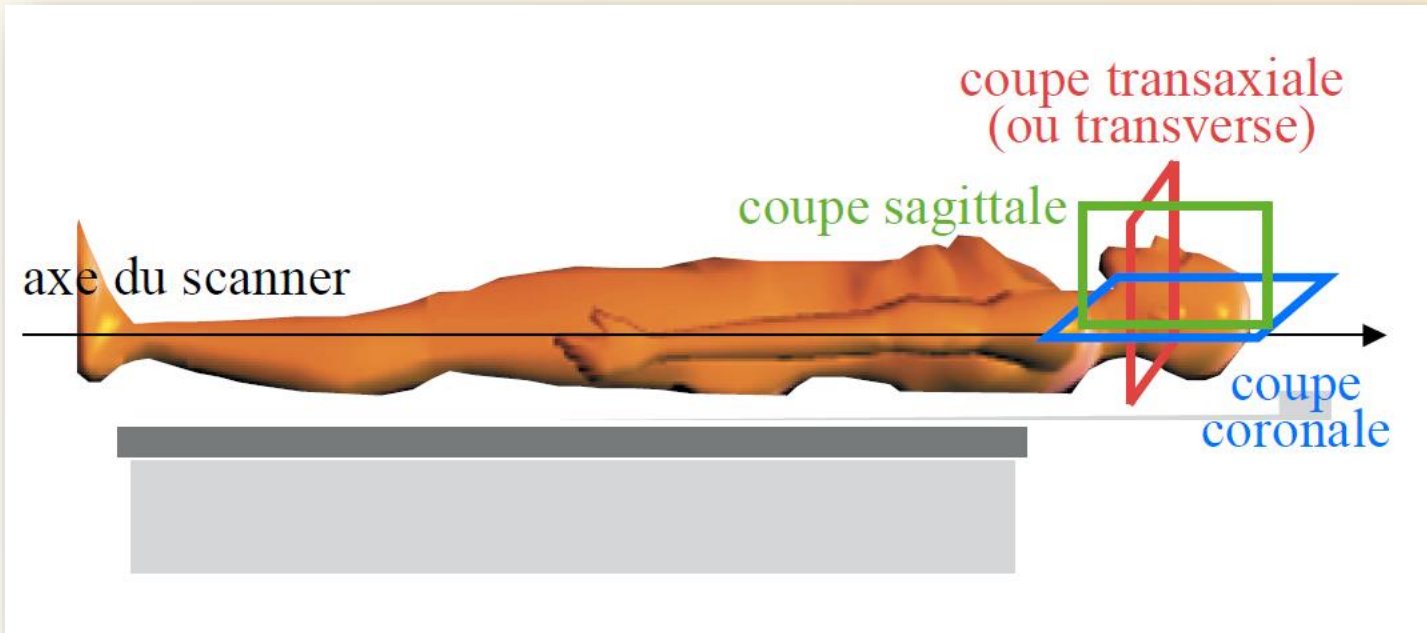
- A licenced copy of [Minecraft](#)
- 6 GB free disk space: the world is approximately 5.4 GB uncompressed
- More than 4 GB of RAM

Installation

- [Download the BGS_GB_Geology_with_os.zip](#) archive around 369 MB zip
- Unzip the archive to a temporary location
- Start Minecraft
- On the home screen click 'Options'
- Click 'Resource Packs'



Comment sont représentées et stockées ces images 3D ?



- Tout simplement comme un empilement de coupes suivant la direction d'acquisition ou de reconstruction...
- Intensité codée sur 12 bits ou 8 bits, souvent sur 2 octets : attention au codage big endian/little endian : $1000 = 256 \times 3 + 232$
→ faut-il stocker : 03 E8 ou E8 03 ?
- Ne pas oublier de conserver la taille du pixel et son épaisseur (SliceThickness) \neq écart entre coupes (SpacingBetweenSlices)

Comment sont représentées et stockées ces images 3D ?

DICOM (**D**igital **I**maging and **C**ommunications in **M**edicine) is a standard for handling, storing, printing, and transmitting information in medical imaging.

It includes a **file format** definition and a **network communications protocol**. The communication protocol is an application protocol that uses TCP/IP to communicate between systems.

DICOM files can be exchanged between two entities that are capable of receiving image and patient data in DICOM format.

The National Electrical Manufacturers Association (NEMA) holds the copyright to this standard.

Comment sont représentées et stockées ces images 3D ?

DICOM **groups information into data sets**. That means that a file of a chest X-Ray image, for example, actually contains the patient ID within the file, so that the image can never be separated from this information by mistake.

A DICOM data object consists of a **number of attributes**, including items such as name, ID, etc., and also one special attribute containing the image pixel data.

A single DICOM object can only contain one attribute containing pixel data. For many modalities, this corresponds to a single image. But note that the attribute may contain **multiple "frames"**, allowing storage of cine loops or other multi-frame data.

Pixel data can be compressed using a variety of standards, including JPEG, JPEG 2000, and Run-length encoding (RLE).

First 128 bytes: unused by DICOM format
Followed by the characters 'D','I','C','M'
This preamble is followed by extra information e.g.:

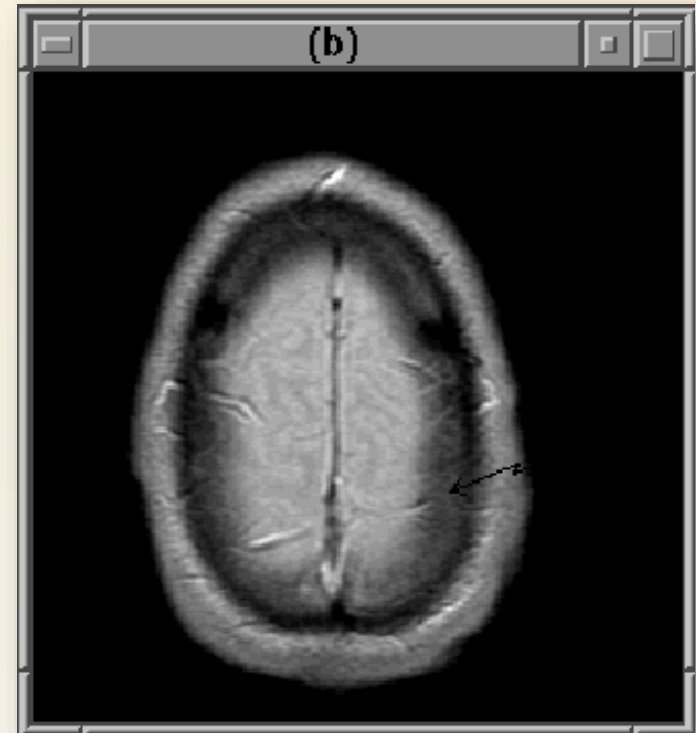
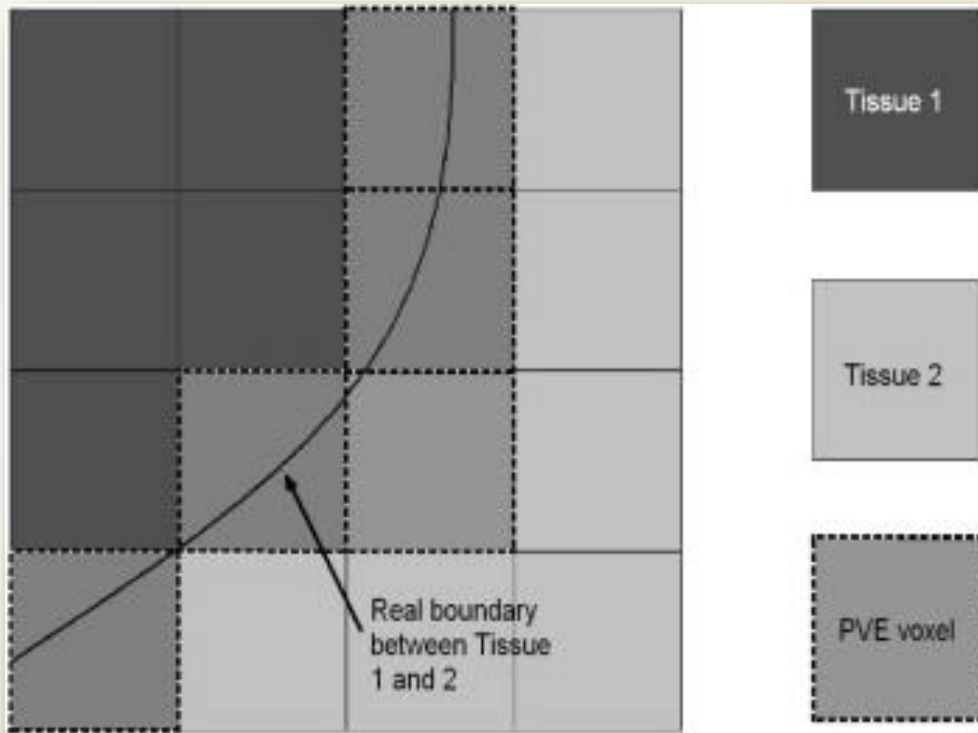
```
0002,0000,File Meta Elements Group Len: 132
0002,0001,File Meta Info Version: 256
0002,0010,Transfer Syntax UID: 1.2.840.10008.1.2.1.
0008,0000,Identifying Group Length: 152
0008,0060,Modality: MR
0008,0070,Manufacturer: MRMicro
0018,0000,Acquisition Group Length: 28
0018,0050,Slice Thickness: 2.00
0018,1020,Software Version: 46\64\37
0028,0000,Image Presentation Group Length: 148
0028,0002,Samples Per Pixel: 1
0028,0004,Photometric Interpretation: MONOCHROME2.
0028,0008,Number of Frames: 2
0028,0010,Rows: 109
0028,0011,Columns: 91
0028,0030,Pixel Spacing: 2.00\2.00
0028,0100,Bits Allocated: 8
0028,0101,Bits Stored: 8
0028,0102,High Bit: 7
0028,0103,Pixel Representation: 0
0028,1052,Rescale Intercept: 0.00
0028,1053,Rescale Slope: 0.00392157
7FE0,0000,Pixel Data Group Length: 19850
7FE0,0010,Pixel Data: 19838
```

Comment sont représentées et stockées ces images 3D ?

- Problème d'anonymisation
- Compatibilité quelquefois imparfaite car on peut développer des systèmes de compression d'images particuliers (voire propriétaires).
- Norme qui devient très (trop ?) complexe (paramètres d'acquisition, modes de visualisation, description du protocole médical....).
- Problème de la compression avec perte de données médicales ?

Quelques problèmes « classiques »

- Un grand problème : le « volume partiel » (partial volume) renforcé par la 3^{ème} dimension



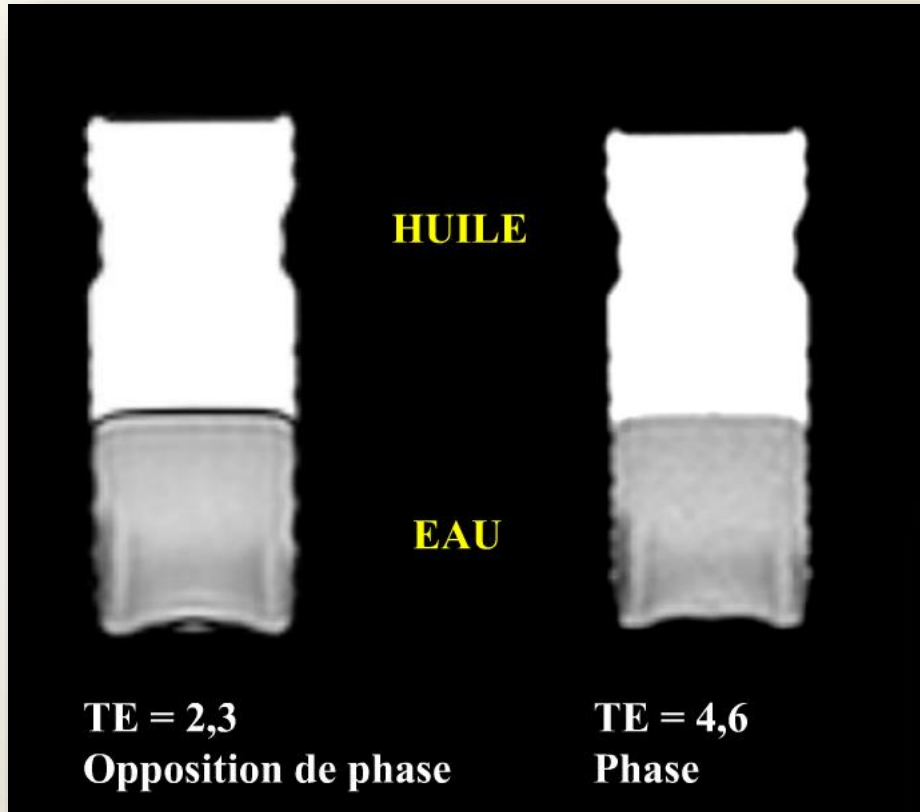
- Le bougé : l'acquisition peut être longue et le patient ne doit pas bouger.... (respiration, battement du cœur, mouvement des yeux...)

Quelques problèmes « classiques »



Scanner X : artefact en étoile dû à des matériaux très denses (alliages dentaires, prothèse)

Quelques problèmes « classiques »

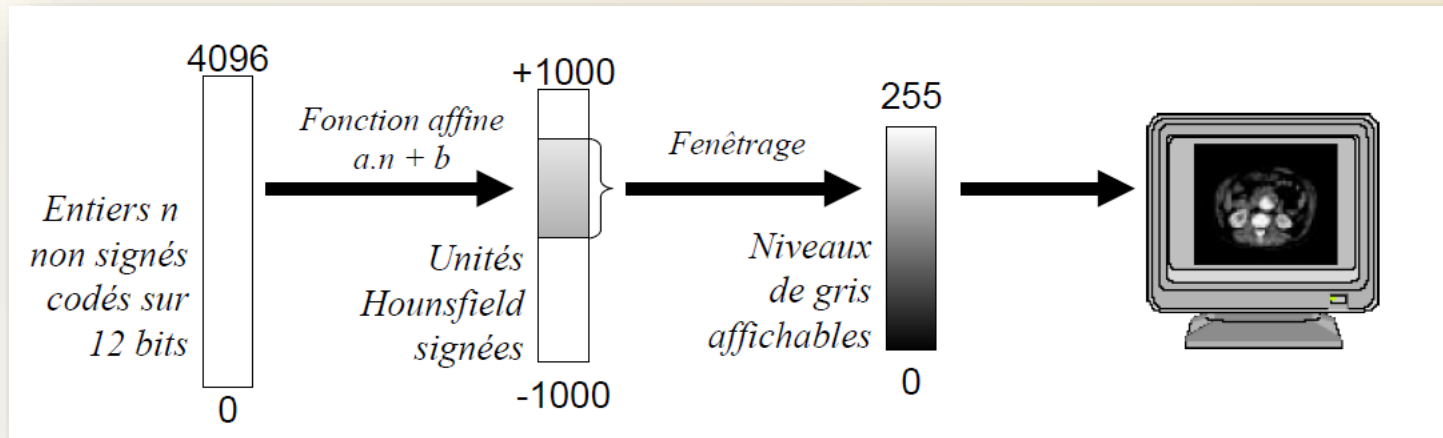


IRM : « décalage chimique » (chemical shift) lié à des matériaux très différents qui sont proches spatialement → les temps de relaxation « interfèrent » et cela crée des interfaces qui n'existent pas...

Comment visualiser une image 3D ?

Problème : comment voir à l'intérieur de l'image ?

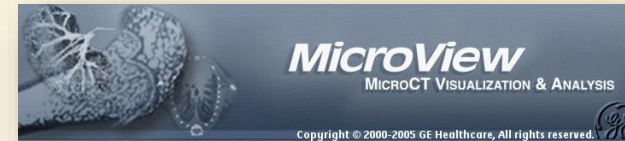
1. En visualisant coupe par coupe



→ Ne permet pas bien d'appréhender les structures en 3D...

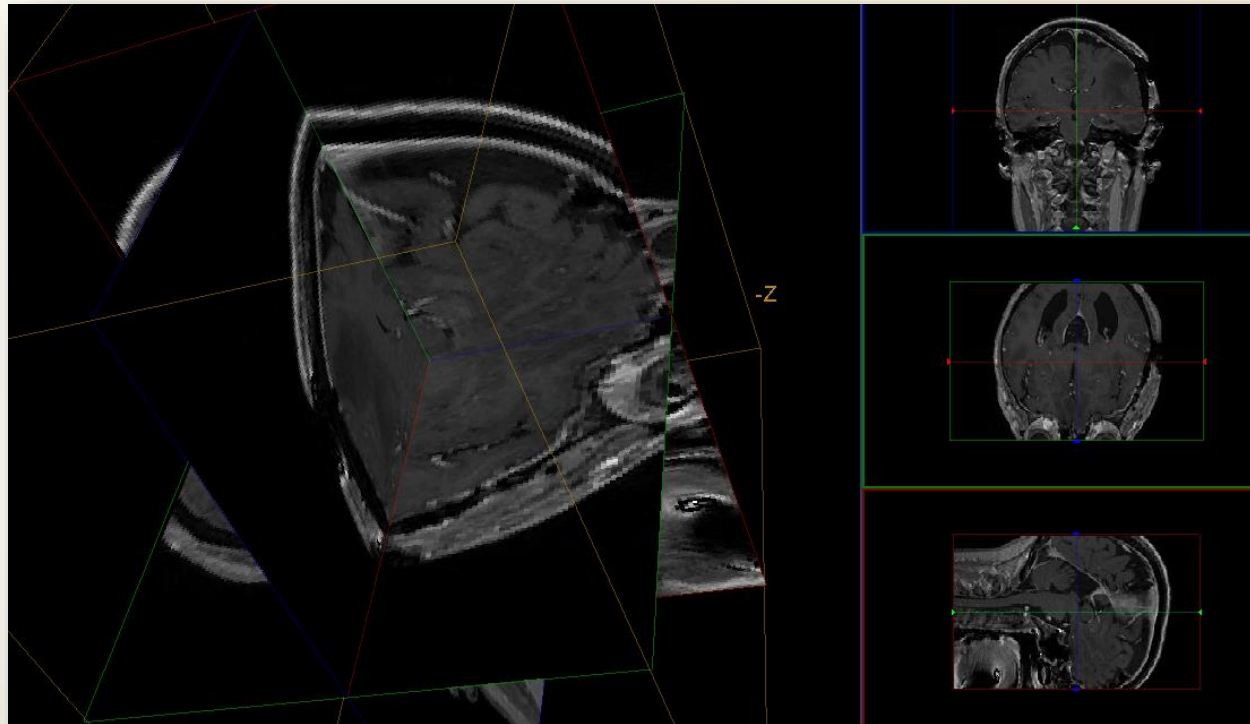
Comment visualiser une image 3D ?

Problème : comment voir à l'intérieur de l'image ?



BRAINIX

2. En visualisant suivant 3 plans orthogonaux (*Multi-Planar Reconstruction*) avec éventuellement une vision « 3D » de ces 3 plans



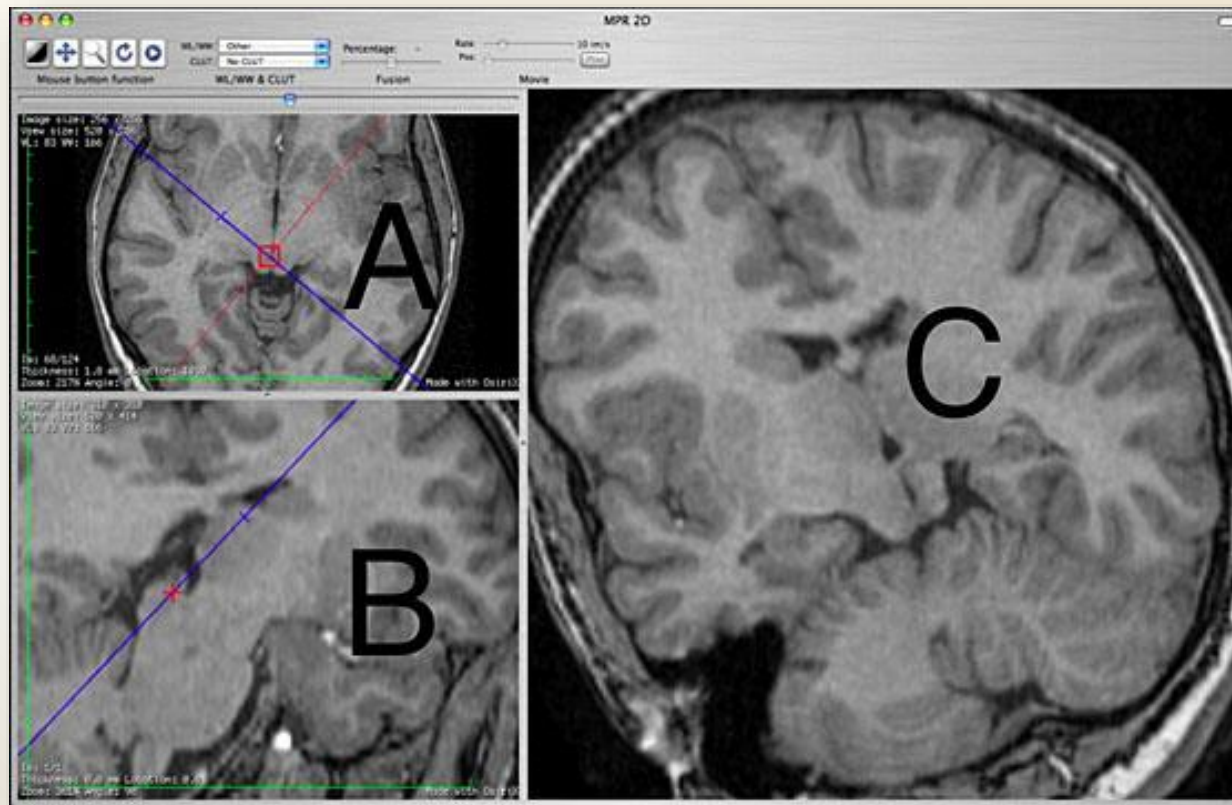
→ Ne permet pas de visualiser des structures obliques...

Comment visualiser une image 3D ?

Problème : comment voir à l'intérieur de l'image ?



3. En visualisant suivant un plan oblique



→ Mais difficile à définir et à... comprendre...

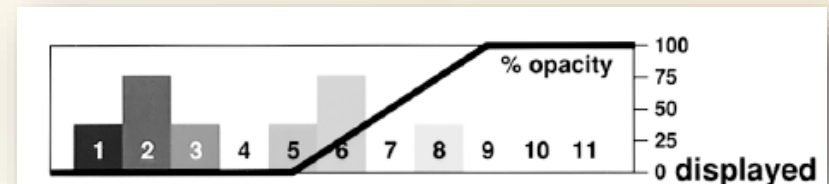
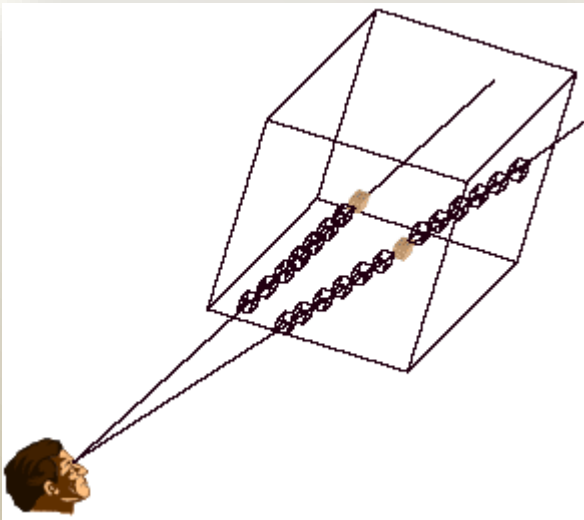
Comment visualiser une image 3D ?

Problème : comment voir à l'intérieur de l'image ?

4. Visualisation volumique (*Volume Rendering*)

Principe :

- définir une « couleur » et une « opacité » pour chaque voxel en fonction de son intensité ;
- sélectionner un point de vue d'observation de l'image 3D
- « intégrer » les informations de couleur et d'opacité en fonction des voxels traversés par les rayons issus de l'œil (*ray casting*).

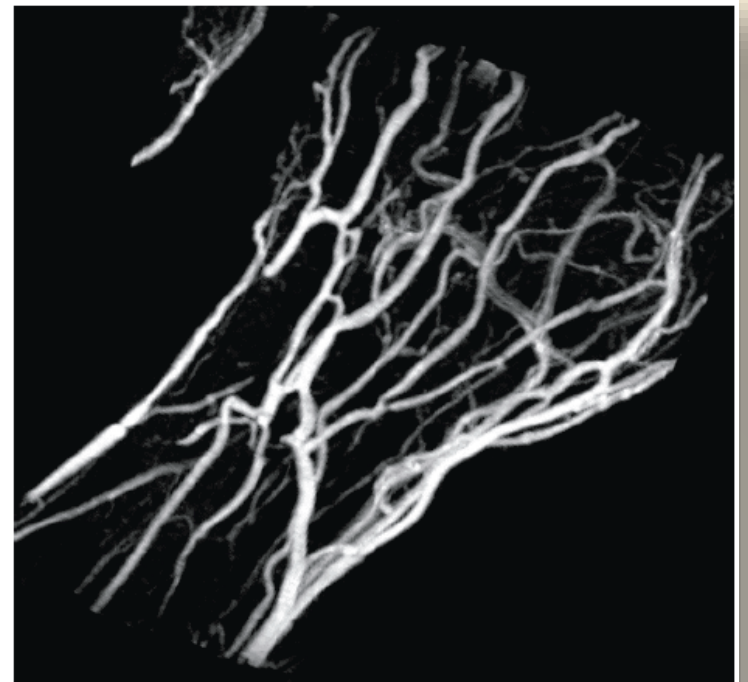
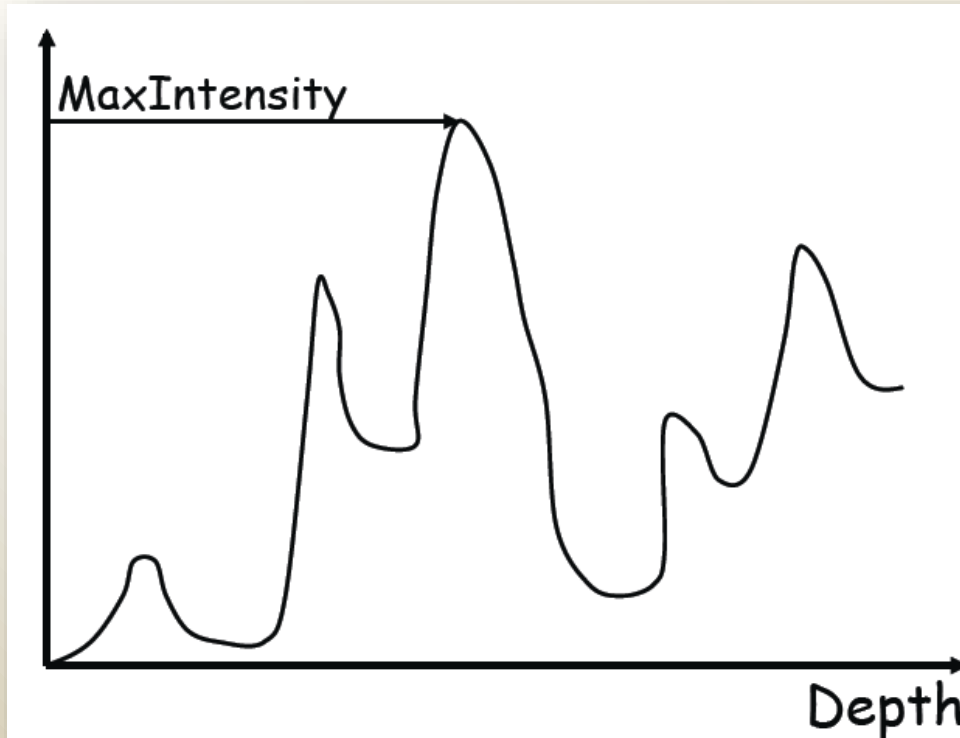


4. Visualisation volumique (*Volume Rendering*)

Cas simples :

4.1 MIP (*Maximum Intensity Projection*)

- Couleur = intensité
- Intégration = couleur maximale le long du rayon



→ Permet de voir les structures denses (os) ou injectées (vaisseaux)

4. Visualisation volumique (*Volume Rendering*)

Cas simples :

4.2 MinIP (*Minimum Intensity Projection*)

- Couleur = intensité
- Intégration = intensité minimale le long du rayon



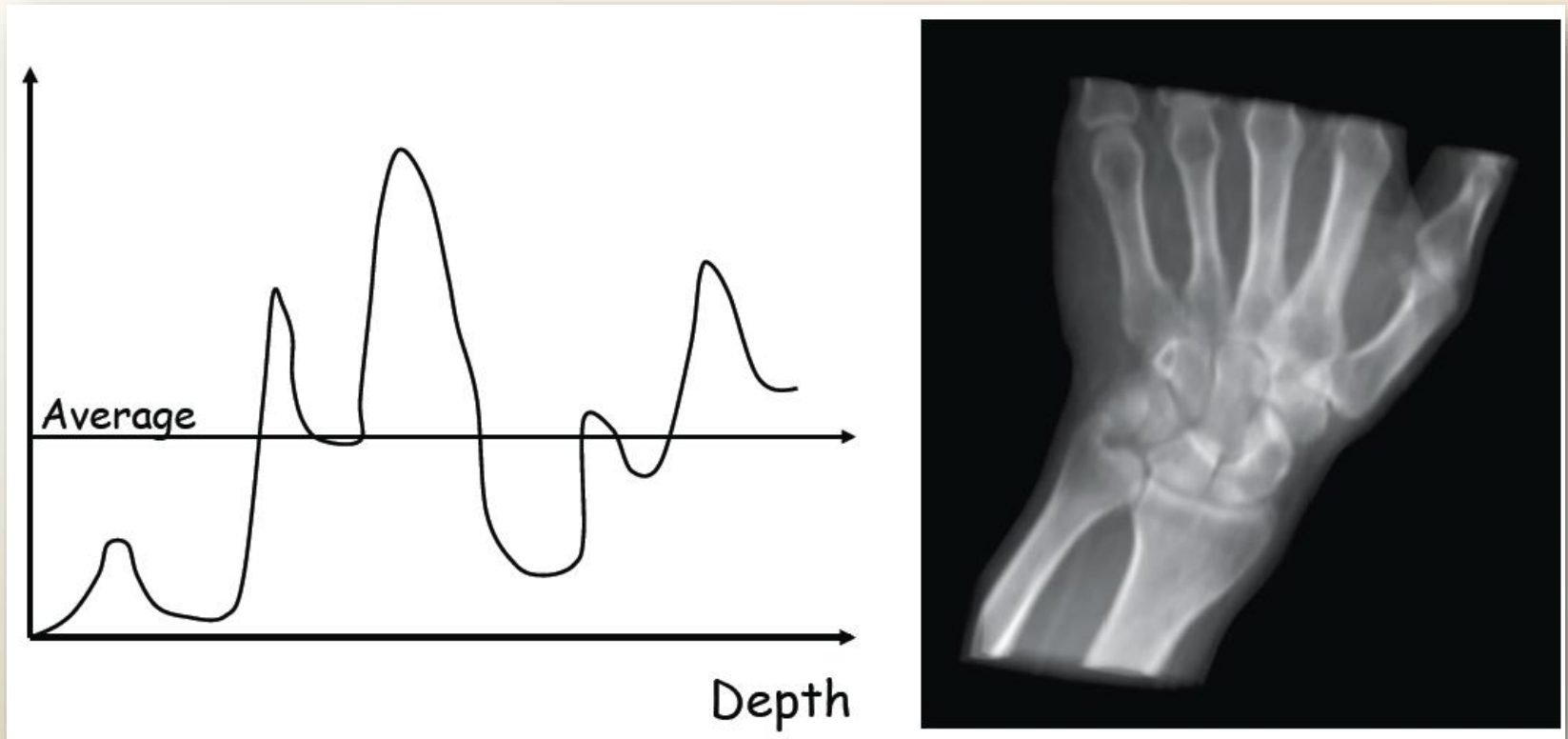
→ Permet de voir les structures « vides » (sinus, poumons)

4. Visualisation volumique (*Volume Rendering*)

Cas simples :

4.3 *AIP (Average Intensity Projection)*

- Couleur = intensité
- Intégration = moyenne des intensités le long du rayon

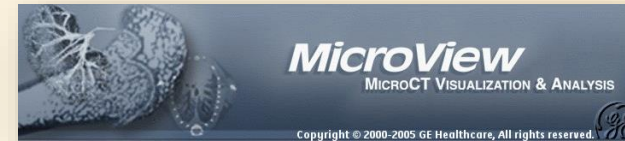


→ Simule la radiographie X : permet d'avoir une vision globale

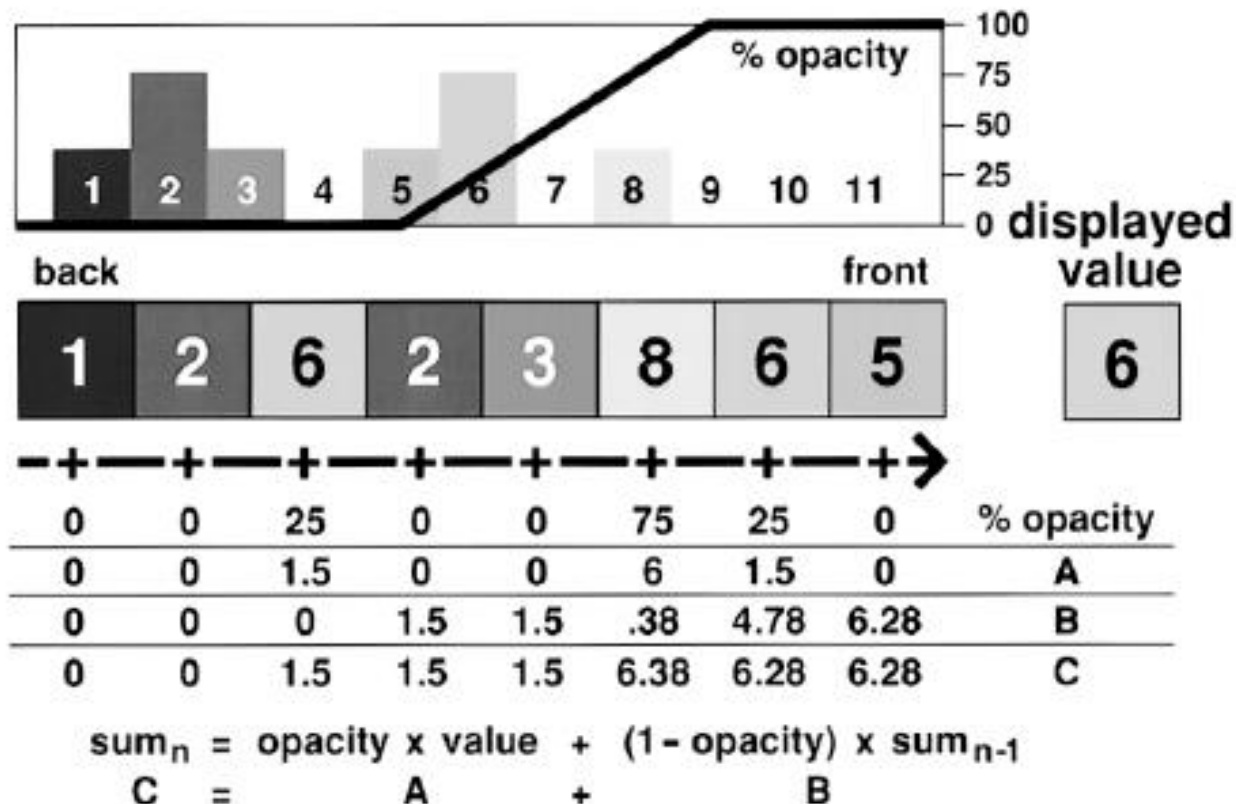
4. Visualisation volumique (*Volume Rendering*)

Cas général :

- Couleur = $f(\text{intensité}, \text{gradient}(\text{intensité}))$
- Intégration en fonction de l'opacité



ORANGE



→ Permet des effets complexes si on a les bons paramètres...

4. Visualisation volumique (Volume Rendering)

M. Sousa & D. Ebert & D. Stredney & N. Svakhine / Illustrative Medical Visualization



Figure 7: Example-based volume illustration of a hand CT dataset, where the color and texture examples are shown in the upper right portion of each image. (a) used a photographic slice of the visible man as the input texture, whereas (b) and (c) use two different medical illustrations as their source for color and texture.

4. Visualisation volumique (*Volume Rendering*)



Sources

- Cours Imagerie Numérique / Imagerie médicale, Licence Pro, IUT Arles, S. Thon
http://www.iut-arles.univ-provence.fr/thon/LP/IN_recode/LP%20-%20IN%20RepCod%20-%20Chapitre%204.pdf
- Reconstruction tomographique cours M1, I. Buvat
http://www.guillemet.org/irene/coursem/M1_Recon_2009.pdf
- La tomographie fait un pas vers la mesure », Mesures 802, p. 30-34, février 2008
http://www.mesures.com/archives/802_Tomographie_3D.pdf
- “Three-dimensional Volume Rendering of Spiral CT Data Theory and Methods”, P.S. Calhoun et coll., Radiographics, vol. 19, No 3
<http://radiographics.rsna.com/content/19/3/745.full>
- “Illustrative Visualization for Medical Training”, M. Costa Sousa et coll., Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging (2005)
https://engineering.purdue.edu/purpl/level2/papers/2005_sousa-et-al-medical.pdf
- Wikipedia (Visible Human Project, X-ray computed tomography, MRI)

Images 3D

Raw data : 2 octets / unsigned short

engine : <http://www.volvis.org>

256 x 256 x 128

1 x 1 x 1 mm

Two cylinders of an engine block

GE Industrial CT-Scanner

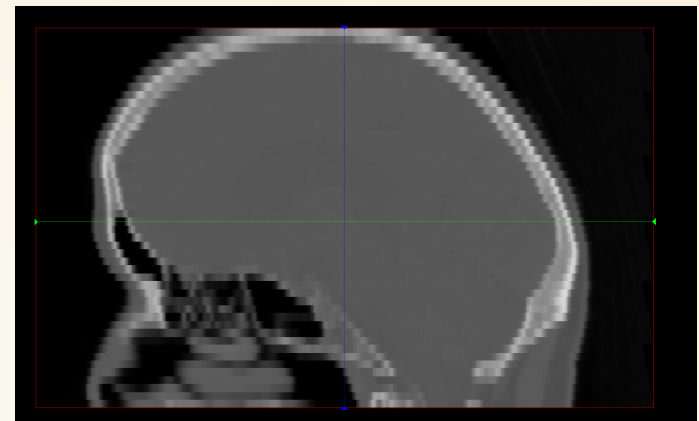


MANIX : <http://pubimage.hcuge.ch:8080/>

512 x 512 x 48

0.457 x 0.457 x 3.0 mm

Head CT



Images 3D

Raw data : 2 octets / unsigned short

<http://pubimage.hcuge.ch:8080/>

BEAUFIX

448 x 576 x 72

0.625 x 0.625 x 1.4 mm

Contrast-enhanced renal MRA acquired on a
3T scanner. Normal study



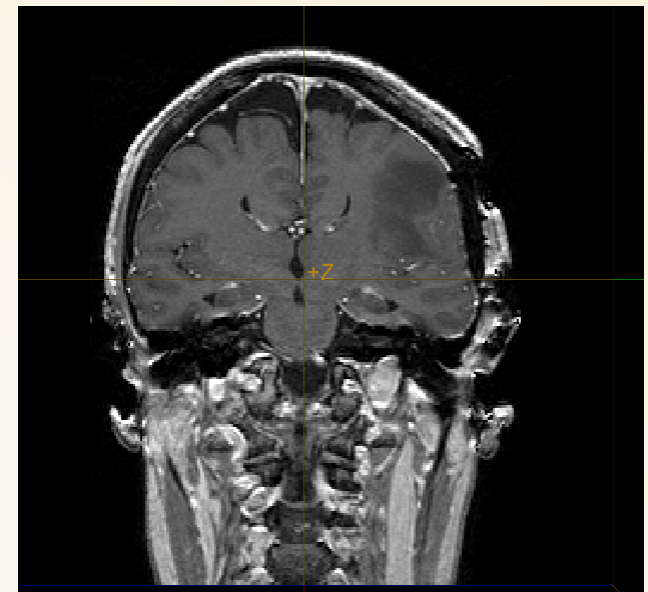
<http://pubimage.hcuge.ch:8080/>

BRAINIX

256 x 256 x 100

0.9375 x 0.9375 x 1.5 mm

MR Brain tumor.



Images 3D

Raw data : 2 octets / unsigned short

FOOT : <http://www.volvis.org>

256 x 256 x 256

1 x 1 x 1 mm

Rotational C-arm x-ray scan of a human foot.

Tissue and bone are present in the dataset.

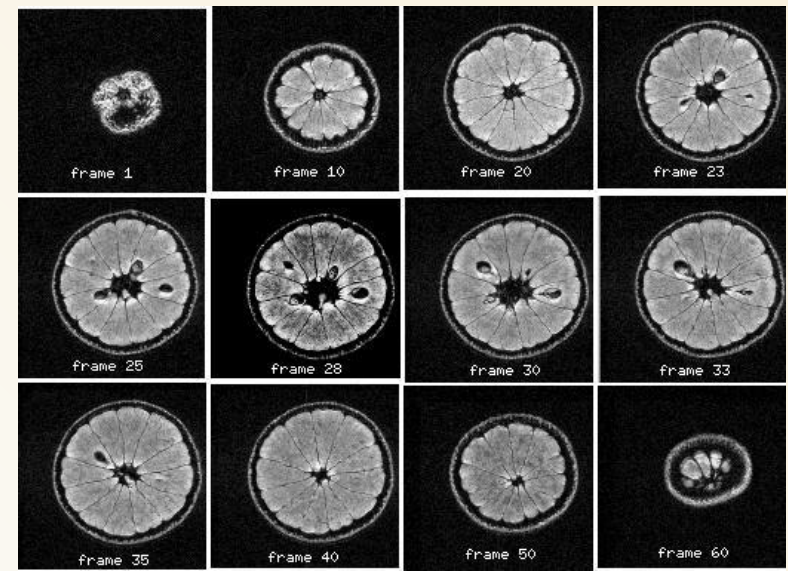


Orange : <http://froggy.lbl.gov/images/orange/data/>

256 x 256 x 64

0,3906 x 0,3906 x 1 mm

MRI of an orange



Logiciels

Fiji (Windows, Linux, MacOS) : <http://fiji.sc/>



Myrian (Windows) : <http://studio.myrian.fr/>

