

Dispositifs d'imagerie médicale

Introduction

Intervenants : E. Baudrier, V. Noblet

Supports de cours

- Accès depuis la page web des intervenants
 - ICube, équipe MIV

<http://miv-icube.unistra.fr/miv>

L'imagerie médicale

- Définition:
 - Procédé permettant d'examiner le patient sans opération
- Principe:
 - obtenir une représentation visuelle d'informations médicales : signal 1D, image 2D, image 3D, image 4D etc.



L'imagerie médicale

- Au sens large:
 - acquérir et traiter des données médicales
- Utilisation:
 - diagnostic
 - thérapeutique
 - physiologique

Historique

- Radiographie conventionnelle

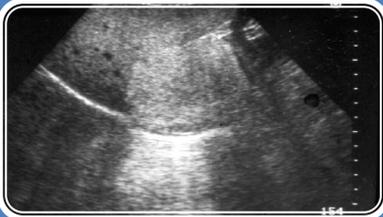


Historique



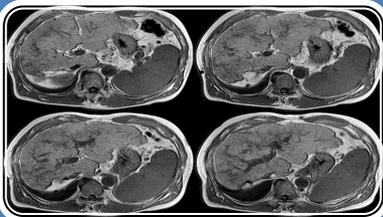
Rayons X

- 1895 : découverte du principe des rayons X par Rontgen
- 1972 : scanner mis au point par Mc Cornack et Hounsfield



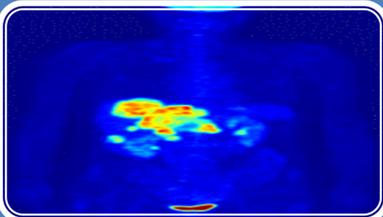
Ultrasons

- 1915 : propagation des ultrasons (SONAR)
- 1955 : première échographie par Edler



IRM

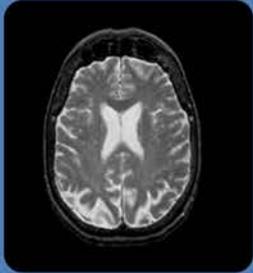
- 1945 : découverte de la résonance nucléaire par Purcell et Bloch
- 1973 : première image IRM d'un animal par Lauterbur



Nucléaire

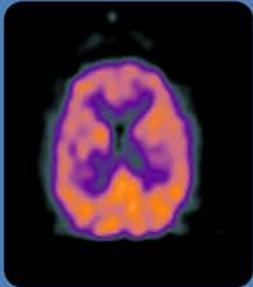
- 1934 : découverte de la radioactivité naturelle par Becquerel et Curie
- 1990 : développement de la médecine nucléaire

Trois types d'imageries (complémentaires)



Imagerie morphologique ou anatomique

- Sert à étudier l'anatomie
- Point clef : la résolution spatiale des images



Imagerie fonctionnelle

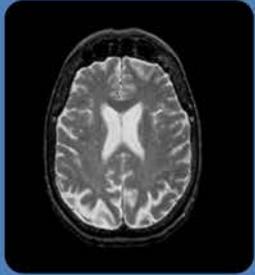
- Sert à étudier des phénomènes biochimiques ou physiologiques
- Point clef : spécificité de la substance utilisée pour étudier le phénomène physiologique



Imagerie moléculaire

- Visualise directement ou non des gènes ou des protéines
- Point clef : spécificité de la substance utilisée pour étudier le phénomène physiologique

Imagerie anatomique



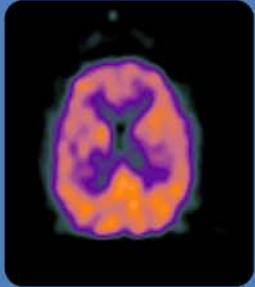
Imagerie morphologique ou anatomique

- ⑩ Sert à étudier l'anatomie
- ⑩ Point clef : la résolution spatiale des images

Modalités:

- ⑩ Radiographie, Scanner X, IRM, échographie
- ⑩ Résolution spatiale : de l'ordre de 1mm

Imagerie fonctionnelle



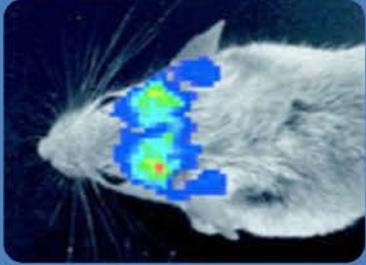
Imagerie fonctionnelle

- ⑩ Sert à étudier des phénomènes biochimiques ou physiologiques
- ⑩ Point clef : spécificité de la substance utilisée pour étudier le phénomène physiologique

Modalités:

- ⑩ Majoritairement l'imagerie nucléaire (imagerie scintigraphique, TEP, SPECT) mais également les autres modalités (IRM, échographie, Scanner X)
- ⑩ Electrophysiologie, thermographie
- ⑩ Résolution spatiale : de l'ordre de 4 à 12 mm

Imagerie moléculaire



Imagerie moléculaire

- ⑩ Visualise directement ou non des gènes ou des protéines
- ⑩ Point clef : spécificité de la substance utilisée pour étudier le phénomène physiologique

Modalités:

- ⑩ SPECT, TEP, IRM, Scanner X, imagerie optique

Modalités d'image

Radiographie

Scanner

Médecine
Nucléaire

Ultrasonographie

IRM

Imagerie optique

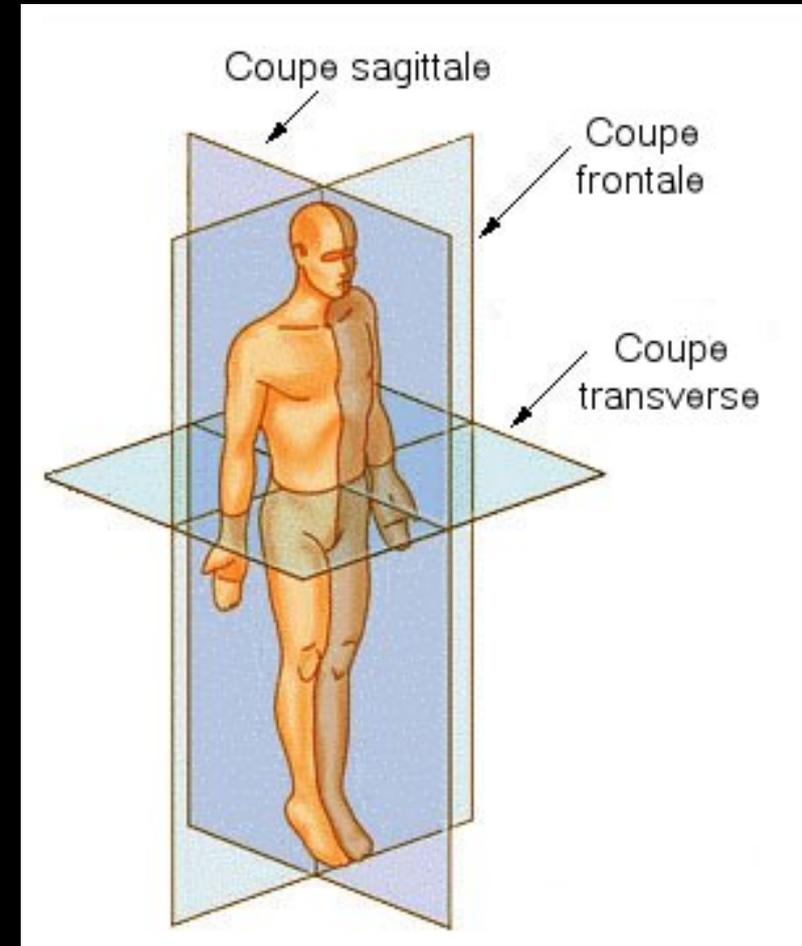
Imagerie
électromagnétique

Caractéristiques

- Pour chaque type d'imagerie :
 - physique sous-jacente
 - dispositif d'acquisition
 - formation des images (différenciation des tissus)
 - caractéristiques des images (dimensions, résolution, artefacts, bruit, etc.)
 - Imagerie statique ou dynamique
 - avantages / inconvénients
 - applications

L'imagerie médicale

- Système de référence en anatomie
 - Plan médian ou plan sagittal
 - Plan axial ou transversal
 - Plan coronal ou frontal



Modalités d'image

Radiographie

Scanner

Médecine
Nucléaire

Ultrasonographie

IRM

Imagerie optique

Imagerie
électromagnétique

Radiographie

Radiographie

- Radiographie, radioscopie
- 1895, Röntgen

Physique sous-jacente

- Rayons X (onde électromagnétique)
- 10^{19} Hz, 20 à 150 KeV
- Paramètre mesuré : coefficient d'atténuation

Dispositif d'acquisition

- Impression photographique d'un film argentique classique par le faisceau de rayons X

Formation des images

- Obtention par projection
- Numérisation des images

Radiographie

Caractéristiques des images

- Résolution : 0.1 mm
- Temps d'acquisition : 0.02s à 3s



Radiographie

Avantages

- Examen rapide

Inconvénients

- Radiations ionisantes
- La multiplication d'examens peut-être néfaste

Applications

- La radiologie « standard » : les structures osseuses et articulaires ainsi que les poumons
- Avec produit de contraste : examens digestifs, urinaires, arthrographie

Modalités d'image

Radiographie

Scanner

Médecine
Nucléaire

Ultrasonographie

IRM

Imagerie optique

Imagerie
électromagnétique

Scanner



Scanner

- Scanner X | Tomodensitométrie (TDM) | Tomographie axiale calculée | Computerized Tomography (CT-scan)
- 1972, G. Hounsfield

Physique sous-jacente

- Rayons X (mesure du coefficient d'atténuation)
- 10^{19} Hz, énergie des photons : 20 à 150 KeV

Dispositif d'acquisition

- Rayons X envoyés par un tube et reçus par un détecteur

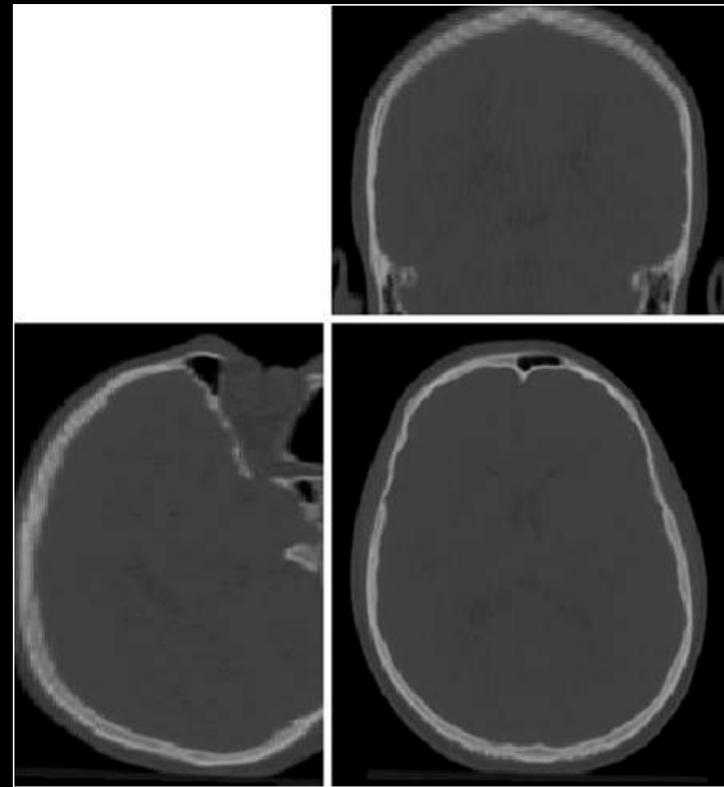
Formation des images

- Imagerie en coupes
- Reconstruction tomographique (problème inverse)

Scanner

Caractéristiques des images

- Résolution : 1x1x1 mm
- Temps d'acquisition : 2s à 30s / image
- Niveaux de gris absolus



Scanner

Avantages

- Bonne résolution spatiale
- Examen rapide
- Coût du scanner

Inconvénients

- Examen irradiant
- La multiplication d'examens peut-être néfaste

Applications

- Scanner thoracique, abdominal, pelvien
- Lésions osseuses, pathologies vasculaires
- Egalement avec produit de contraste

Modalités d'image

Radiographie

Scanner

Médecine
Nucléaire

Ultrasonographie

IRM

Imagerie optique

Imagerie
électromagnétique

Imagerie nucléaire



Imagerie nucléaire

- Tomographie d'émission monophotonique (TEMP | SPECT)
- Tomographie à émission de positons (TEP | PET)

Physique sous-jacente

- Traceur radioactif qui émet des rayonnements
- $5 \cdot 10^{19}$ Hz, énergie des photons : 70 à 500 KeV
- Paramètre mesure : la concentration radioactive

Dispositif d'acquisition

- Détection de photons émis par le traceur
- Acquisition de projections

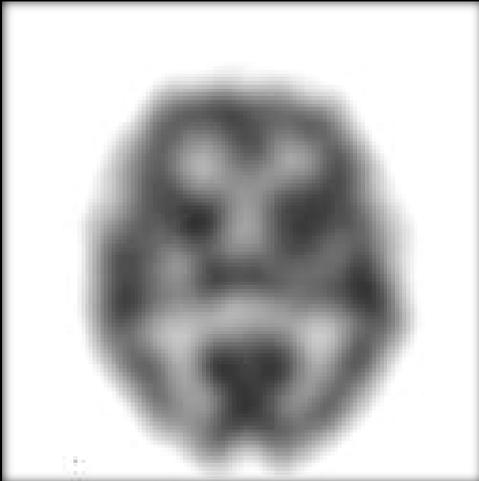
Formation des images

- Imagerie en coupes
- Reconstruction tomographique (problème inverse)

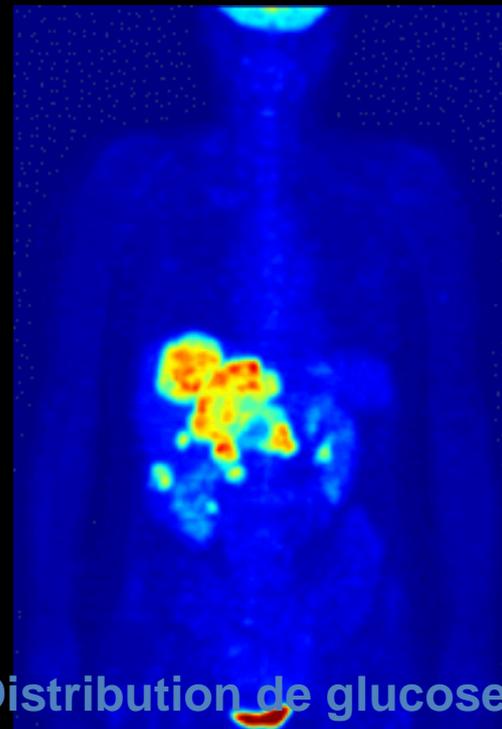
Imagerie nucléaire

Caractéristiques des images

- Résolution : 2 à 5 mm
- Temps d'acquisition : 10 à 30mn / examen



TEMP (image cérébrale)



Distribution de glucose marquée au Fluor 18, image TEP

Imagerie nucléaire

Avantages

- Images physiologiques

Inconvénients

- Rayonnement ionisant

Applications

- Cardiologie, pathologie ostéo-articulaire, pneumologie, oncologie, etc.

Modalités d'image

Radiographie

Scanner

Médecine
Nucléaire

Ultrasonographie

IRM

Imagerie optique

Imagerie
électromagnétique

Ultrasonographie



Ultrasonographie

- Echographie | échotomographie
- Echographie doppler

Physique sous-jacente

- Ondes sonores de haute fréquence
- $5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$
- Paramètre mesuré : impédance

Dispositif d'acquisition

- Sonde en contact avec le patient émet et reçoit des ondes ultrasonores

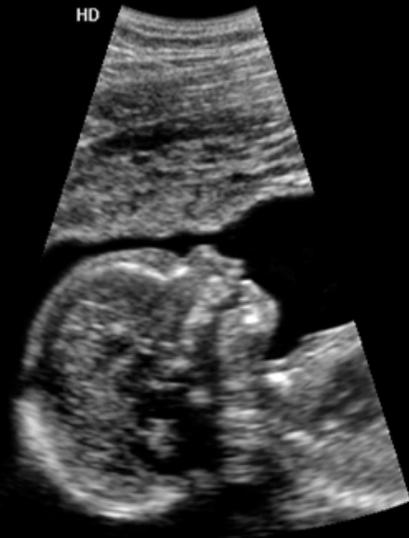
Formation des images

- Imagerie en coupes
- Enveloppe du signal reçu

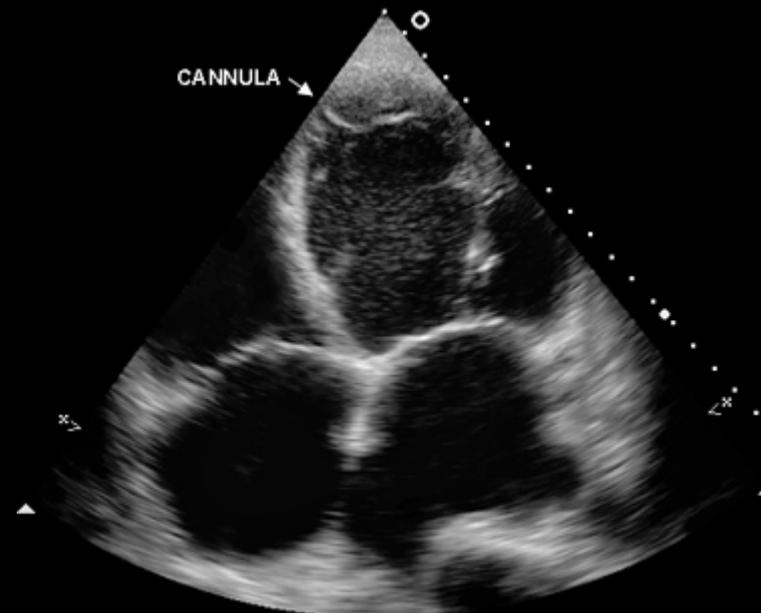
Ultrasonographie

Caractéristiques des images

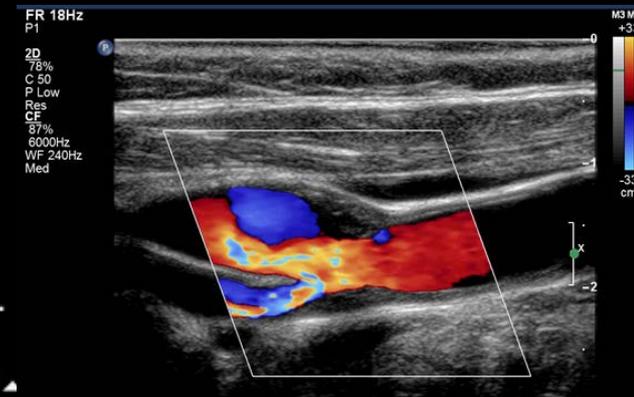
- Résolution : < 1 mm
- Temps d'acquisition : « temps réel »



Obstétrique



Cardiologie



Vasculaire

Ultrasonographie

Avantages

- Equipement de faible coût, portable
- Non ionisant, innocuité, examen rapide

Inconvénients

- Qualité de l'image
- Imagerie limitée par le type d'acquisition
- Opérateur dépendant

Applications

- Obstétrique, Cardiologie, Gastro-entérologie
- Employée dans presque toutes les spécialités médicales pour affirmer un diagnostic (pneumologie urologie, ophtalmologie, gynécologie,)

Modalités d'image

Radiographie

Scanner

Médecine
Nucléaire

Ultrasonographie

IRM

Imagerie optique

Imagerie
électromagnétique

IRM



IRM

- IRM anatomique
- IRM fonctionnelle
- IRM de diffusion
- IRM spectroscopique

Physique sous-jacente

- Phénomène de résonance magnétique nucléaire
- Paramètre mesuré : densité en proton, T₁, T₂

Dispositif d'acquisition

- Aimant qui permet de créer des champs magnétiques

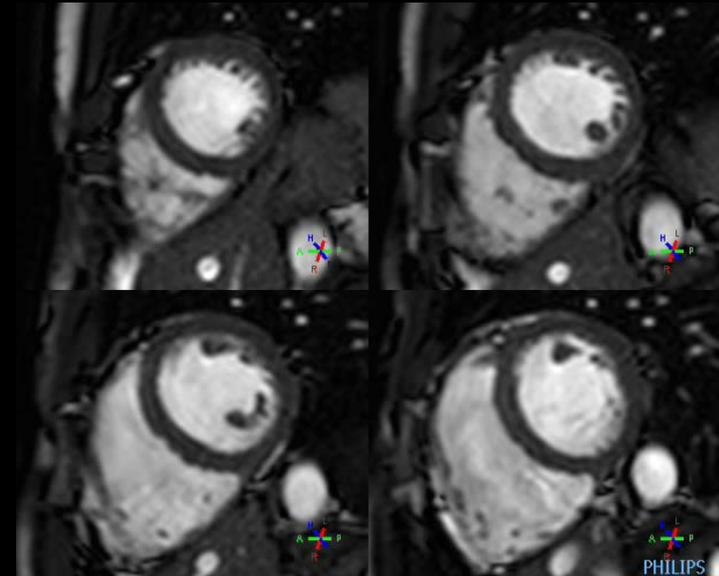
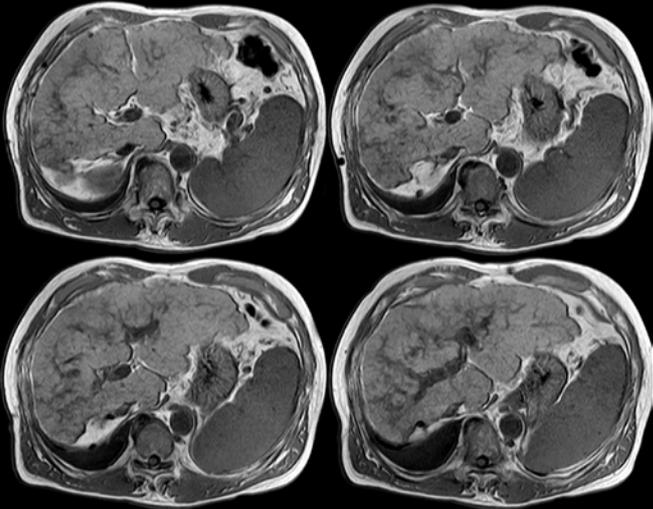
Formation des images

- Imagerie en coupe ou 3D
- Nécessite des techniques de reconstruction

IRM

Caractéristiques des images

- Résolution : de l'ordre du mm
- Temps d'acquisition : 1 à 20mn / séquence



IRM

Avantages

- Bon contraste pour les tissus mous
- Qualité de l'image
- Non invasif, non ionisant

Inconvénients

- Ne permet pas d'imager les tissus durs
- Prix de l'équipement
- Inconfort lors de l'examen

Applications

- Tout ou presque
- Visualiser les artères (angio-IRM)
- Visualiser l'« activité » du cerveau (IRMf)
- Visualiser les faisceaux de matière blanche (DTI)

Modalités d'image

Radiographie

Scanner

Médecine
Nucléaire

Ultrasonographie

IRM

Imagerie optique

Imagerie
électromagnétique

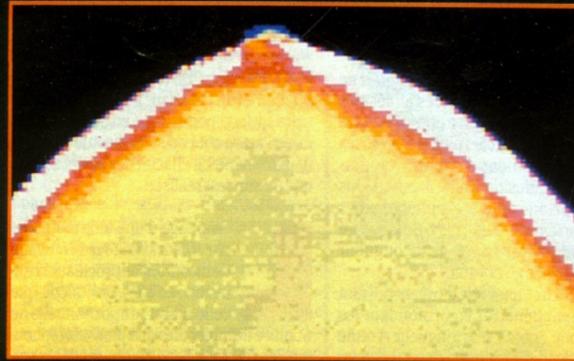


Imagerie optique

- 3 techniques photoniques:
 - Imagerie par transillumination
 - Imagerie de fluorescence
 - Tomographie par cohérence optique
- Avantage : innocuité
- Limitations : forte absorption par les tissus biologiques

Imagerie optique

Mammographie optique par transillumination

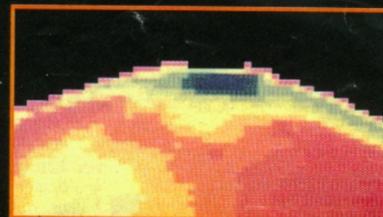


Cette technique consiste à émettre des photons à l'aide d'un laser et à recueillir puis analyser ceux qui ont traversé les tissus. L'image (a) prise en rayons X montre une tumeur bénigne visible en jaune sur l'image de transillumination (b). Celle-ci est obtenue à partir de deux éclairages à deux longueurs d'onde qui révèlent mieux les contrastes (c et d). L'image (e) en rayons X fait apparaître une tumeur maligne qu'on voit nettement en transillumination (f : en vert).

Image reconstituée d'un sein normal en fausses couleurs

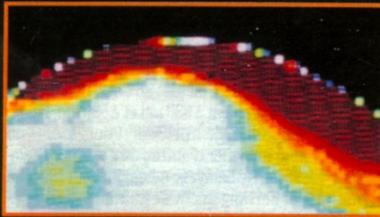


a

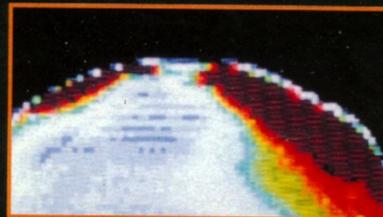


b

Images en rayon X (a) et par transillumination (b) d'un sein à tumeur bénigne. Balayage à 830 nm (c) et 630 nm (d)



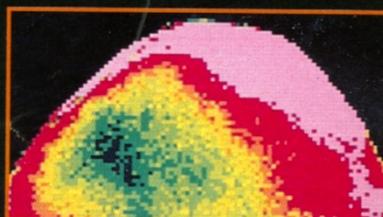
c



d



e



f

PHOTOS HAMAMATSU

Images en rayons X (e) et par transillumination (f) d'un sein à tumeur cancéreuse

Modalités d'image

Radiographie

Scanner

Médecine
Nucléaire

Ultrasonographie

IRM

Imagerie optique

Imagerie
électromagnétique

MEG-EEG : Imagerie électromagnétique

MEG-EEG

- MEG : Magnétoencéphalographie (1970's)
- EEG : électro-encéphalogramme (1929)

Physique sous-jacente

- MEG : mesure des champs magnétiques
- EEG : Mesure de l'activité électrique

Dispositif d'acquisition

- MEG : capteurs de champ magnétique très sensibles, à base de supraconducteurs basse température
- EEG : électrodes

Formation des « images »

- Problème direct / Problème inverse
- Nécessite des techniques de reconstruction

MEG - EEG

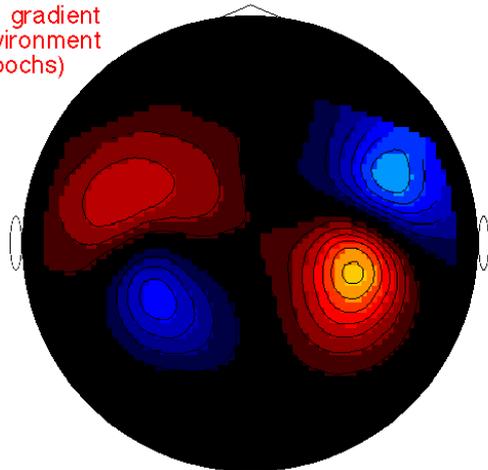
Caractéristiques des images

- Résolution spatiale: quelques mm
- Résolution temporelle : 1ms (500ms en IRMf)

Applications

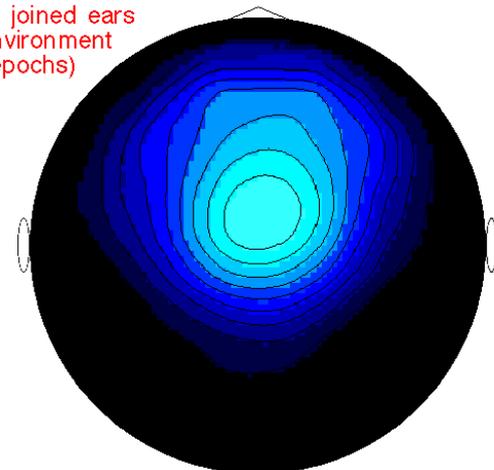
- Imagerie cérébrale (informations complémentaires à l'IRMf)

MEG of AEP
3rd order gradient
open environment
(50 epochs)



MEG 0.121 sec

EEG of AEP
re-refered to joined ears
open environment
(50 epochs)



MEG 0.121 sec

Dispositifs d'imagerie médicale

- Classification par la physique
- Modalités vues dans ce cours:
 - scanner X
 - imagerie nucléaire (TEP, TEMP)
 - imagerie par résonance magnétique
 - échographie
 - tomographie optique
 - EEG, MEG

Liens avec le traitement d'images

- Reconstruction
- Améliorer la qualité des images
- Extraire le contour d'organes, classification
- Détecter et reconnaître des pathologies
- Modélisation
- Fusion d'information
- Visualisation
- Analyse fonctionnelle et neurosciences
- Aide au diagnostic, à l'intervention et au suivi thérapeutique

Sources

- Z.-H. Cho, J.P. Jones and M. Singh. *Foundations of Medical Imaging*. Wiley Interscience, 1993
- J. Giron, F. Joffre. *Bases physiques et évolution de l'imagerie radiologique*. Masson, 1993
- A. Blum. *Scanographie volumique multicoupe*. Masson, 2002
- J.M. Bourgeois, M. Boynard, P. Espinasse. *L'image par échographie*. Sauramps médical, 1995
- Cours d'Irène Buvat, U678 Inserm
- Philips Medical System
- Wikipédia