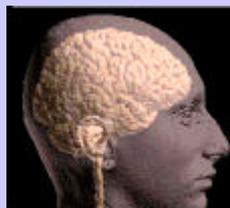


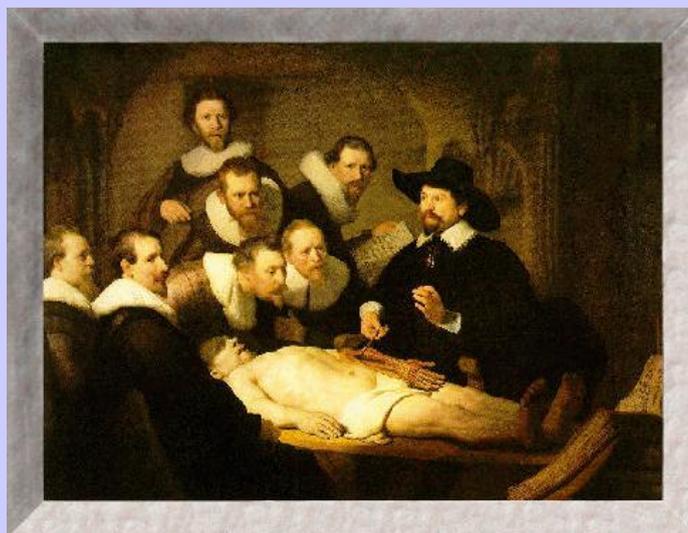
L'Analyse des Images Médicales par Ordinateur



Equipe Epidaure, G. Malandain



1632...

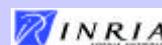


Rembrandt: Leçon d'anatomie du Dr. Tulp

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



2

1895



Roentgen

premier prix Nobel
de Physique en 1901

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



3

XX^{ème} Siècle

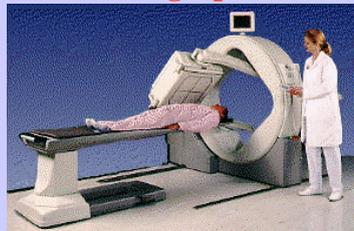
IRM



Scanner-X



Scintigraphie



Echographie



16/01/2003



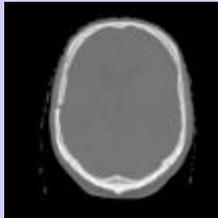
Gregoire Malandain - Epidaure



4

XX^{ème} Siècle

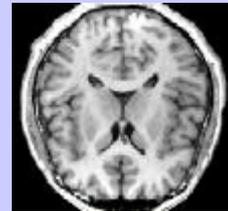
Scanner X



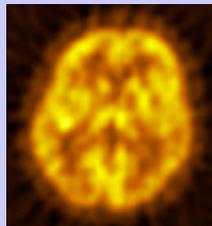
Imagerie ...



IRM



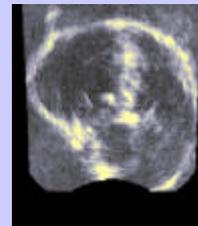
Scintigraphies



... et thérapie



Echographies



16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



5

Imagerie et diagnostic

- Examen clinique
- Analyse des symptômes
- Analyse de constantes physiologiques
- Analyse de signaux électrophysiologiques
- Imagerie médicale macroscopique :
 - présentation d'un paramètre physique, physiologique, chimique voire fonctionnel sous forme d'une image
- **Née en 1895 (Roentgen)**

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



6

Imagerie et diagnostic

- Pathologie dans l'image
 - Différence entre forme examinée et forme attendue (ex: sténose)
 - Variation locale de la couleur d'un organe (ex: tumeur)
 - Contraste anormal (trop fort ou trop faible) entre un organe et ses voisins (ex: défaut de perfusion myocardique)
 - Texture inhabituelle (ostéoporose = porosité des os due à une décalcification)

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



7

Différentes modalités d'imagerie

- Radiologie conventionnelle
- Scanner X
- Echographie
- IRMs : anatomique, fonctionnelle, angiographique, de diffusion, spectroscopie, marquée
- Médecine nucléaire

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



8

Différentes mesures / principes physiques

Radiologie conventionnelle	Intégrale de coefficients d'absorption de rayons X
Scanner X	Coefficient d'absorption de rayons X
Echographie	Variation d'impédance
IRMs	Résonance des protons
Médecine nucléaire	Densité de radio-isotope

Mesures inaccessibles directement : nécessité d'un traitement informatique

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



9

Examen Visuel

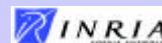
- Tâche difficile



16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



10

Problèmes...

- Grands volumes d'informations
- Peu d'outils d'analyse quantitative des images, très rarement automatiques ; les systèmes thérapeutiques (par exemple les robots) ont peu de capacités de perception per-opératoire.
- L'analyse des images est le plus souvent **qualitative** et le contrôle des systèmes thérapeutiques **prédéfini** ou **manuel**.

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



11

Tomodensitomètre X (Scanner)

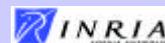


- Densité d'absorption des rayons X

16/01/2003

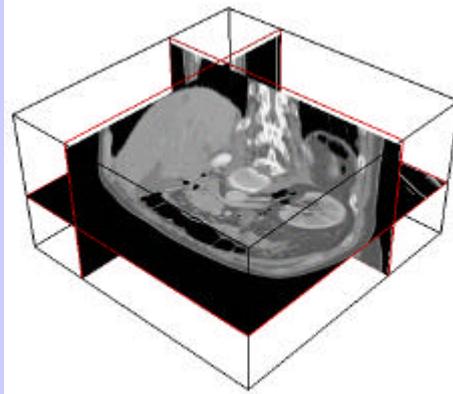
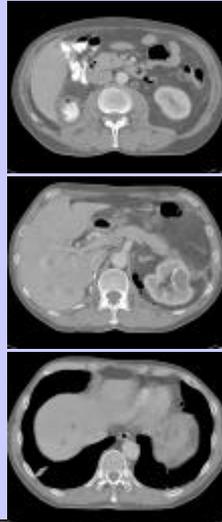
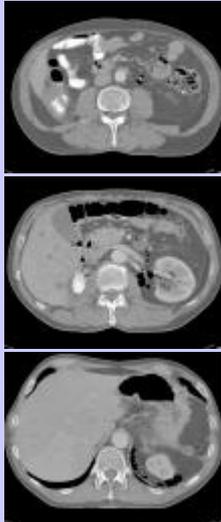


Gregoire Malandain - Epidaure



12

Tomodensitomètre X (Scanner)



Taille: 512 x 512 x 128
Résolution: 0.5 x 0.5 x 1 mm

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



13

Imagerie par Résonance Magnétique

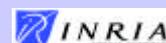


- Densité et structure des protons

16/01/2003

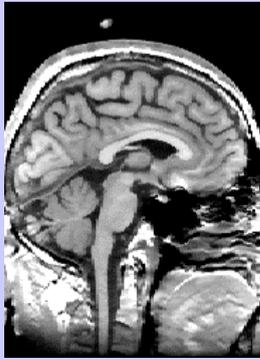


Gregoire Malandain - Epidaure

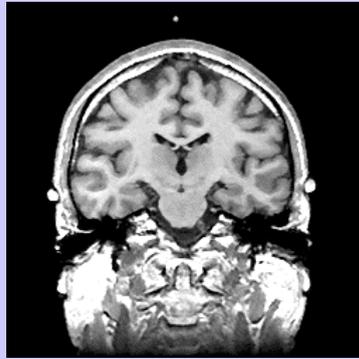


14

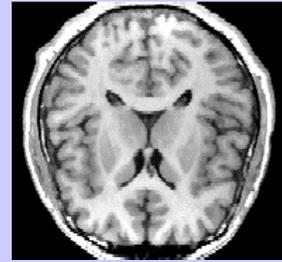
Imagerie par Résonance Magnétique



Sagittal



Coronal ou Frontal



Axial ou Transverse

dimension: 256 x 256 x 128

résolution: 1x1x1.5 mm

16/01/2003

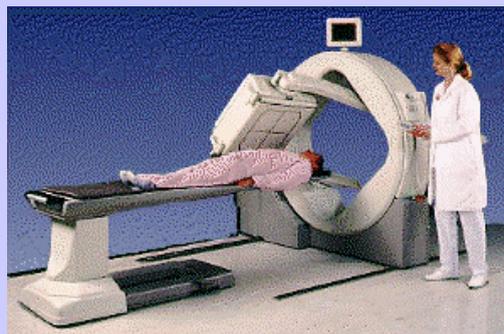


Gregoire Malandain - Epidaure



15

Scintigraphies (Médecine Nucléaire)

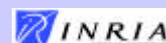


- Densité traceurs radioactifs

16/01/2003

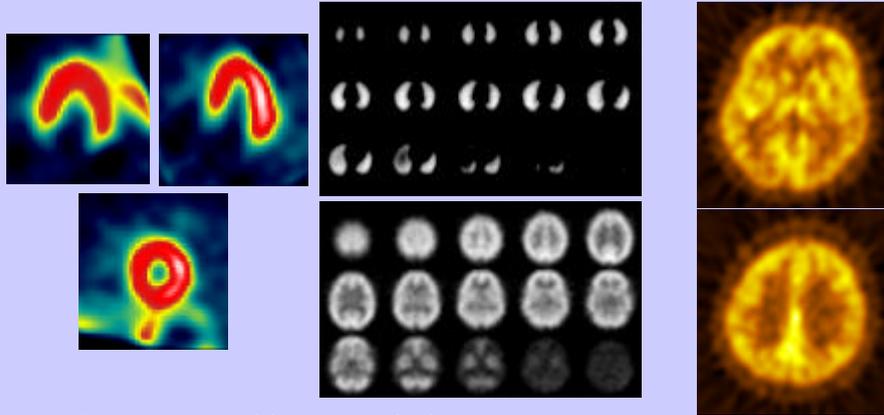


Gregoire Malandain - Epidaure



16

Scintigraphies (médecine nucléaire)



TEMP: Tomographie par Emission MonoPhotonique

TEP: Tomographie par Emission de Positons

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



17

Echographies



- Variation locale de l'impédance acoustique

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



18

Echographie



Vésicule

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure

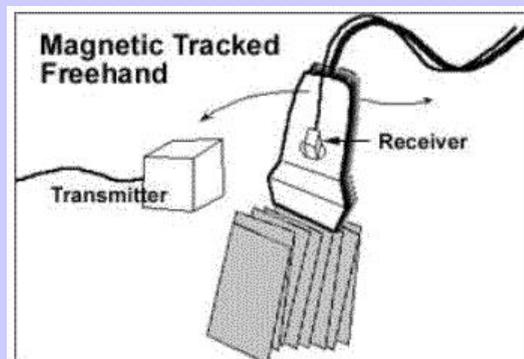


19

Echographie 3D

■ Sonde classique (2D)

- Balayage manuel
- Capteur de position
- Reconstruction 3D



16/01/2003



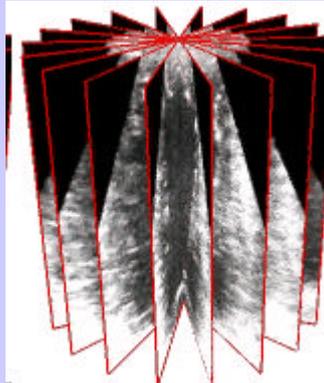
Gregoire Malandain - Epidaure



20

Segmentation: Échographie

- Séquence 4D



16/01/2003

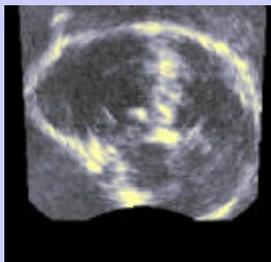


Gregoire Malandain - Epidaure



21

Echographie



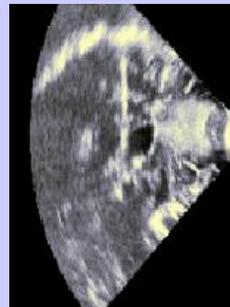
Sagittale

Tête

Axiale



Coronale



16/01/2003

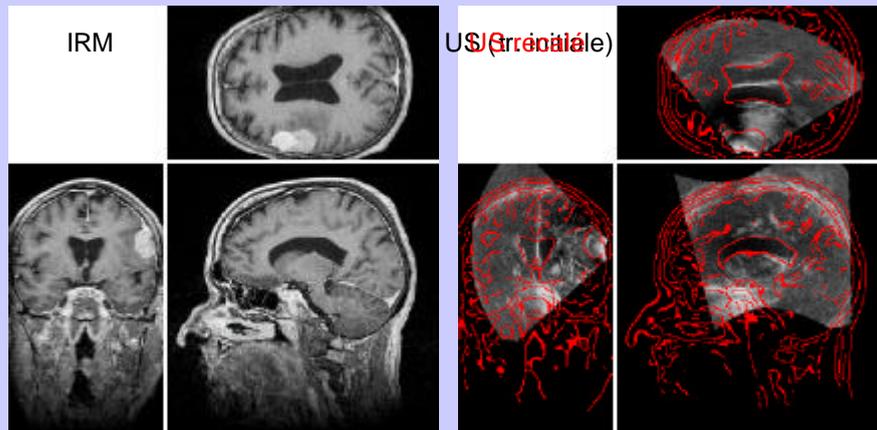


Gregoire Malandain - Epidaure



22

Résultats: patient



16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



23

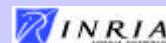
Autres Modalités

- IRM fonctionnelle (IRMf)
- IRM interventionnelle (IRMi)
- IRM Angiographiques (IRMa)
- IRM spectroscopique
- US Angiographiques, US Perfusion,
- Magnéto-EncéphaloGraphie (MEG)
- Electro-EncéphaloGraphie (EEG)
- Vidéo, Radiographies, etc.

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



24

Traitement numérique des images

• logiciels destinés à améliorer l'utilisation de l'imagerie et de la robotique médicales.

- Visualisation
 - Quantification
 - Superposition
 - Interprétation
- } Diagnostic
- Planification
 - Simulation
 - Contrôle
- } Thérapie

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



25

Principales Applications

- Aide au **diagnostic**
 - extraction de mesures quantitatives et objectives dans les images médicales
- Aide à la **thérapie**
 - planification et simulation (pré-opératoire)
 - contrôle (per-opératoire)
 - suivi (post-opératoire)

16/01/2003

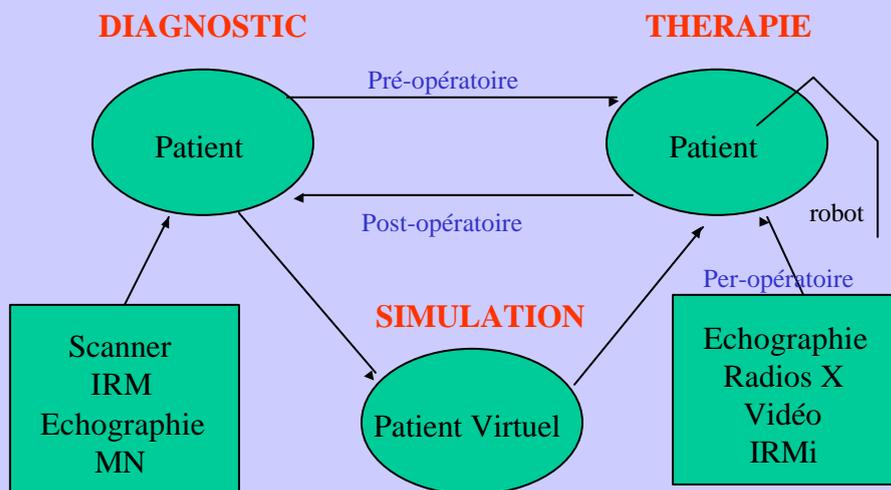


Gregoire Malandain - Epidaure



26

Thérapie du Futur



16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



27

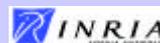
Quelques exemples

- Robotscope : contrôle per-opératoire
- Sclérose en plaques
 - Partenariat avec le CHU de Nice
- Atlas des noyaux gris centraux
 - Partenariat avec AP-HP, INSERM U289, UPR640 CNRS
- Planning de chirurgie hépatique
 - Partenariat avec l'IRCAD
- Segmentation d'angiographies 3D

16/01/2003



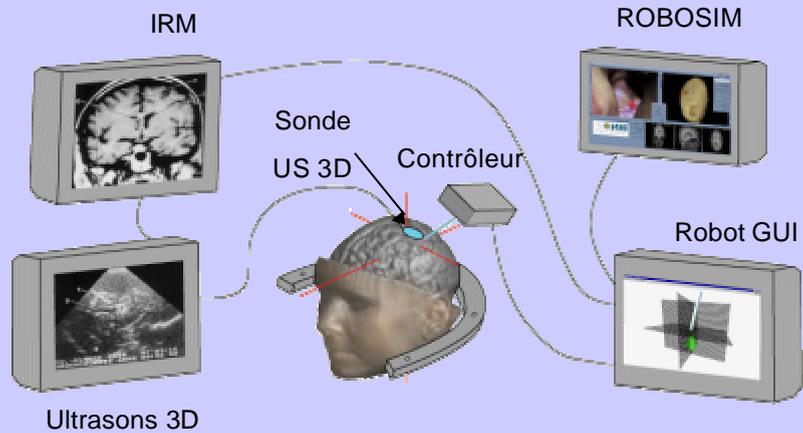
Gregoire Malandain - Epidaure



28

Roboscope

Neurochirurgie endoscopique assistée par la robotique et l'image



Courtesy Brian Davies

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure

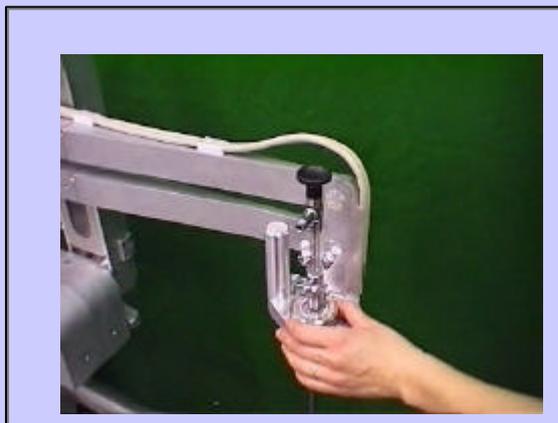


29

Manipulateur

- Contraintes actives de position (zones d'exclusion)

Imperial College



Courtesy B. Davies & S. Starkie

16/01/2003



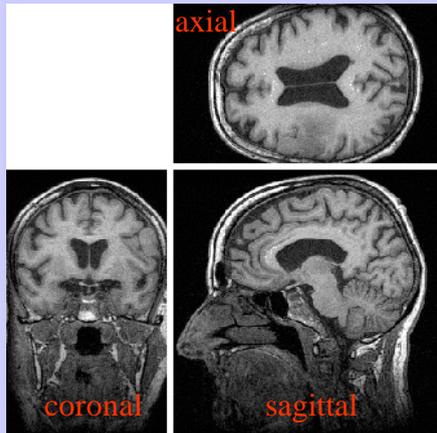
Gregoire Malandain - Epidaure



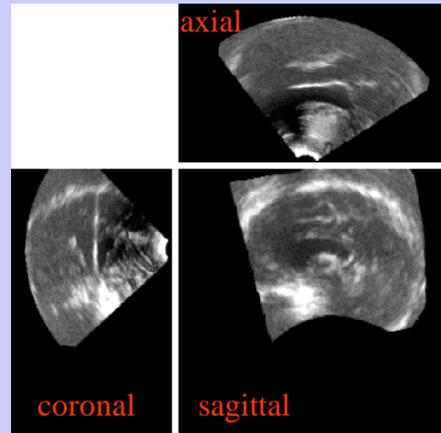
30

Couple IRM-US typique

IRM **Pré** - Opérateur



US **Per** - Opérateur



16/01/2003

Acquisition des images : L. & D. Auer, M. Rudolf

Gregoire Malandain - Epidaure



31

Recalage multimodal iconique

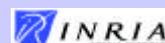
$$W(T) = \sum_k f(I(x_k), J(T(x_k))) + W_d(T)$$

- Thèse de A. Roche: cadre unificateur pour choisir un critère de ressemblance entre les intensités des images.
- Permet de retrouver les **principaux critères** utilisés dans la littérature, et d'introduire de **nouveaux critères** plus efficaces.

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure

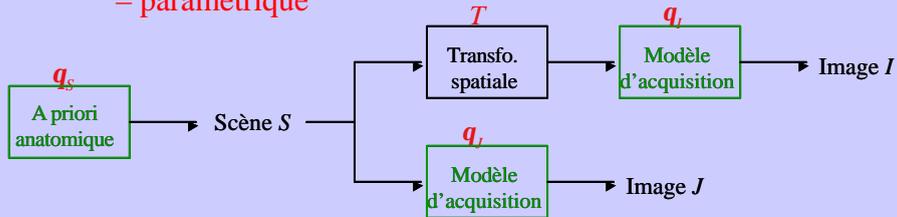


32

Cadre général

- Modèle de dépendance inter-images

- probabiliste
- paramétrique



- Inférence par maximum de vraisemblance

$$\max_{T, q_I, q_J, q_S} P(I, J | T, q_I, q_J, q_S)$$

paramètres auxiliaires: q

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



33

Critère de similarité optimal

Identité: somme des différences au carré

$$ssd^2 = \sum_k (I(x_k) - J(T(x_k)))^2$$

Affine: coefficient de corrélation

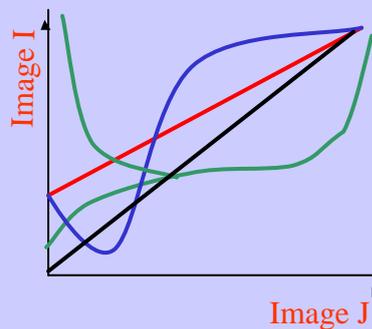
$$r^2 = 1 - \frac{Cov(I, J(T))}{\sqrt{Var(I)}}$$

Fonctionnelle: rapport de corrélation

$$h^2 = 1 - \frac{Var(I / J(T))}{Var(I)}$$

Statistique: information mutuelle

$$I(I, J) = H(I) - H(I / J(T))$$



Roche-Malandain-Ayache, Int.J.Imaging Syst., 2000

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



34

Recalage Ultrasons-IRM

- Nouvel algorithme de recalage:

- rapport de corrélation bivarié

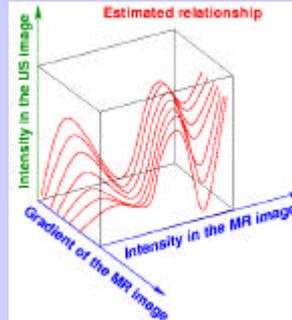
$$I = f(J, |\nabla J|)$$

- estimation robuste de f

- Minimiser :

$$\hat{T} = \underset{T}{\operatorname{argmin}} \sum_k (I(x_k) - \hat{f}(J(T(x_k)), |\nabla J(T(x_k))|))^2 \quad (\text{brevet Inria})$$

Roche-Pennec-Malandain-Ayache-Ourselin 2000



16/01/2003



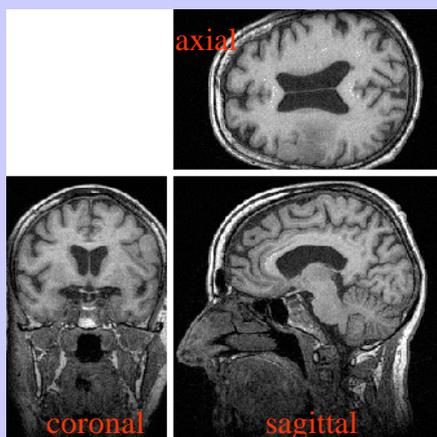
Gregoire Malandain - Epidaure



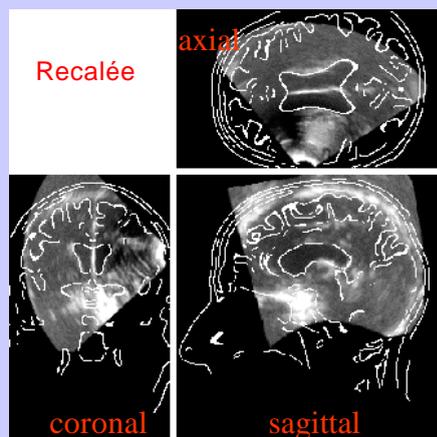
35

Fusion IRM - Echographie

IRM Pré-opératoire



Echographie 3-D Per-opératoire

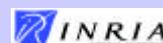


Roche et al., MICCAI'00

16/01/2003

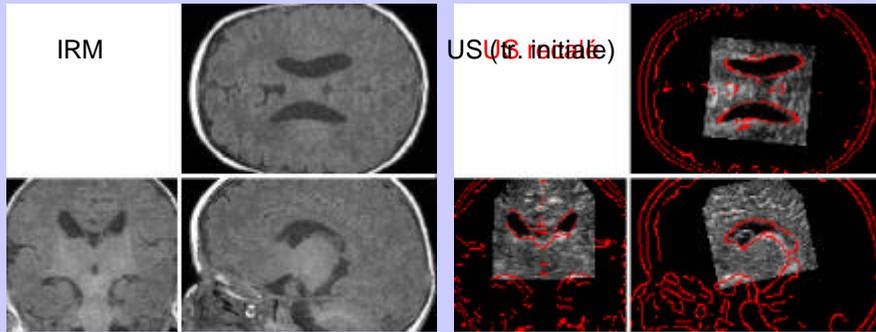


Gregoire Malandain - Epidaure



36

Résultats: nourrisson



16/01/2003

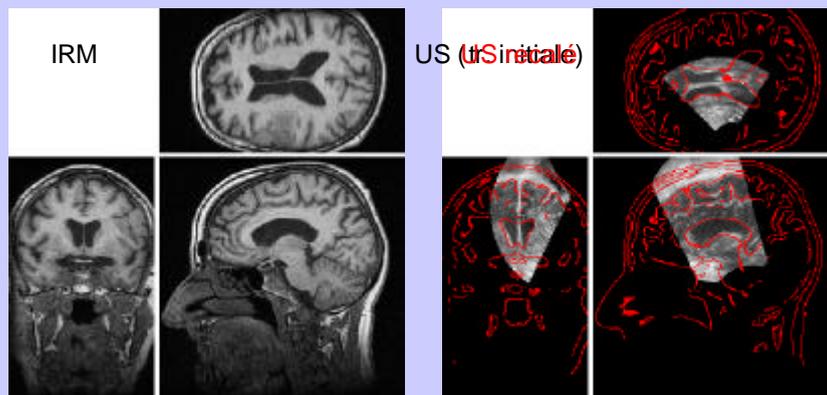


Gregoire Malandain - Epidaure



37

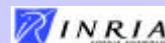
Résultats: patient



16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



38

Précision/Robustesse

Sensibilité à l'initialisation

200 recalages avec

- rotation aléatoire 15 degrés
- translation aléatoire 20 mm

	échecs	précis. moyenne
Corr. Biv.	6%	0.1 mm / 0.4 deg
Rapp. Corr.	14%	0.2 mm / 0.5 deg
Info. Mut.	51%	0.4 mm / 0.7 deg

Pennec-Cachier et al. 2001



16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



39

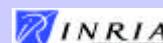
Perspectives

- Validation Clinique
 - images de fœtus (University of North Carolina)
- Fusion Scanner X et Echographies
 - chirurgie hépatique (Ircad)

16/01/2003

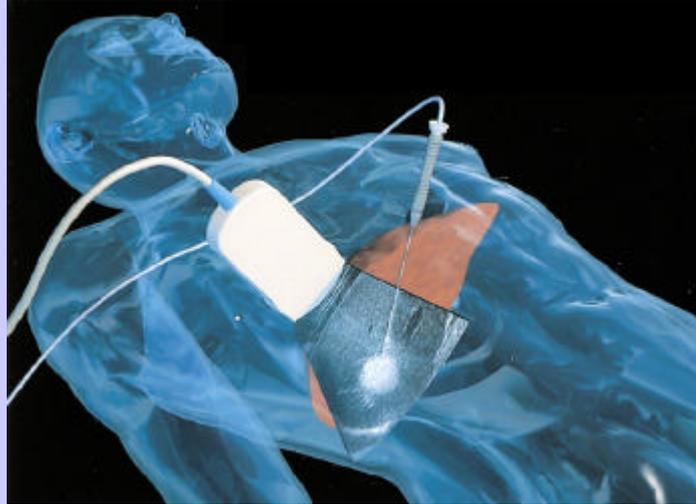


Gregoire Malandain - Epidaure



40

Chirurgie hépatique guidée par l'image



Ircad, L. Soler

16/01/2003



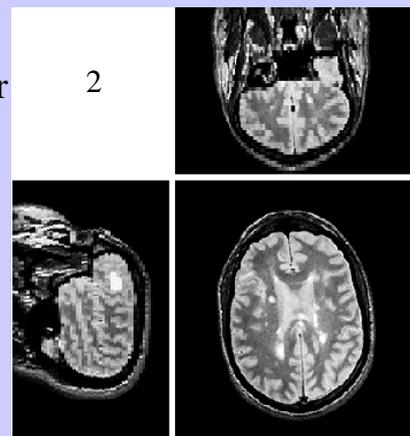
Gregoire Malandain - Epidaure



41

Sclérose en Plaques

- Objectif:
 - quantifier l'évolution des lésions au cours du temps pour mesurer l'efficacité d'un traitement.



16/01/2003

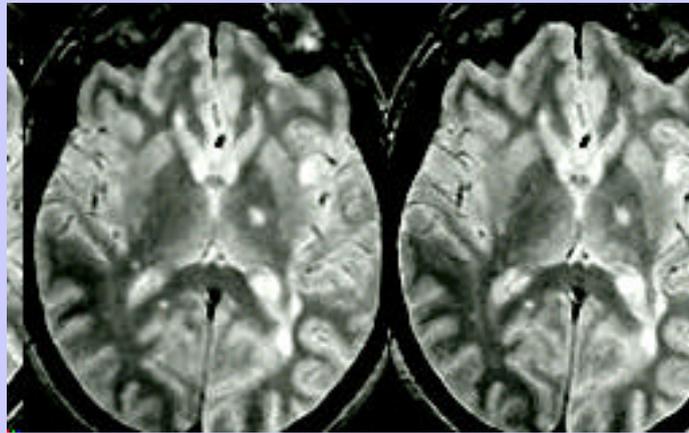


Gregoire Malandain - Epidaure



42

Déformations résiduelles apparentes



temps 1

temps 2 aligné

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



43

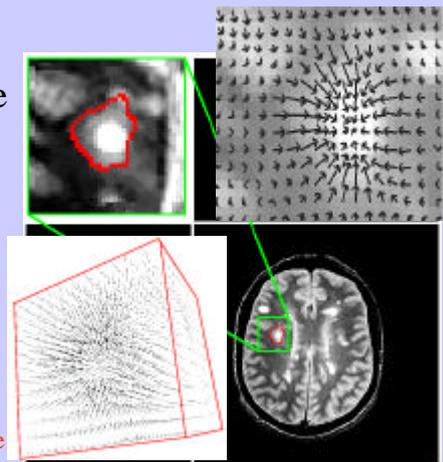
Analyse des déformations

- Extraction automatique des régions présentant une **variation apparente de volume** (Jacobien de la déformation)

brevet INRIA

JP. Thirion, A. Guimond 98

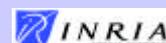
D. Rey, G. Subsol, H. Delingette, N. Ayache
IPMI'99



16/01/2003

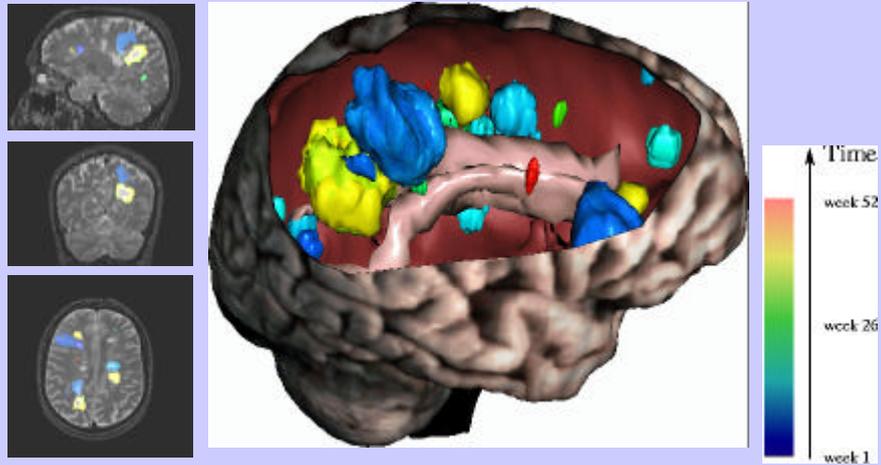


Gregoire Malandain - Epidaure



44

Evolution temporelle des lésions



Rey-Stoeckel-Malandain-Ayache, 2001

16/01/2003



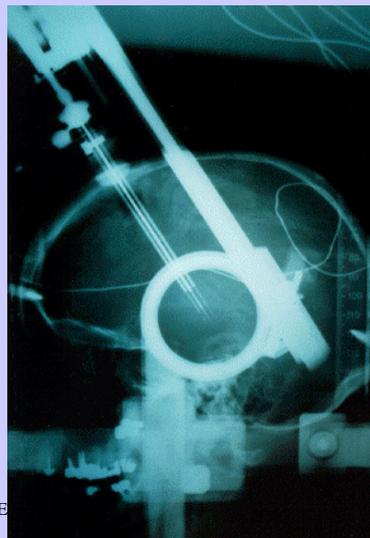
Gregoire Malandain - Epidaure



45

Per-operative electrophysiological study

- Considered as mandatory by most authors to obtain a precise positioning of the electrode
- But because of the duration of the intervention CSF leak is observed during the interventions which leads to the constitution of pneumocephalus and possible displacement of the brain



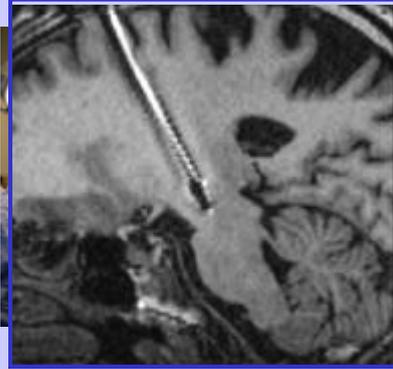
16/01/2003



Gregoire Malandain - E

Stereotactic intervention for depth electrode implantation

- Fixation of a stereotactic frame
- Pre-operative calculation of the target coordinates
- Per-operative electrophysiological study to check the position of the target
- Implantation of the definitive electrodes
- Post-operative control of the position of the definitive electrodes



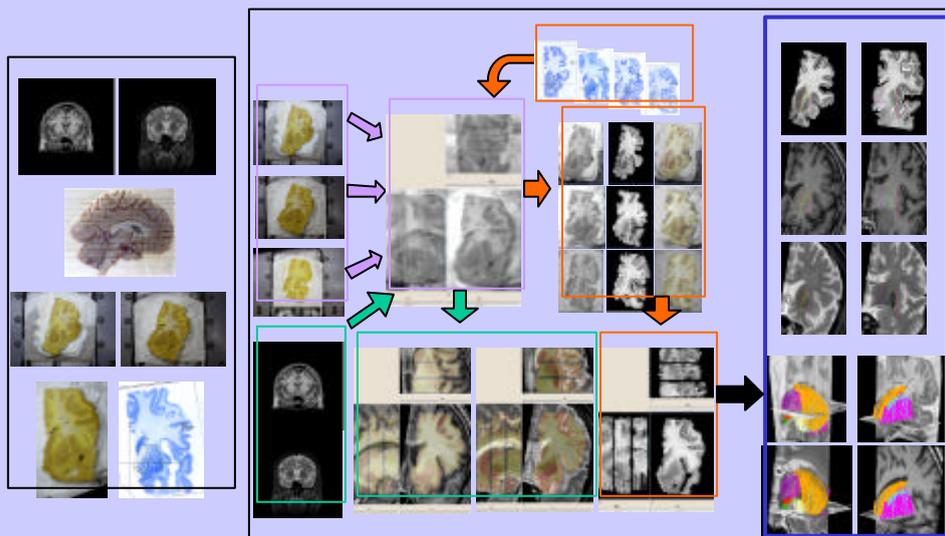
16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



Atlas des noyaux gris centraux



16/01/2003



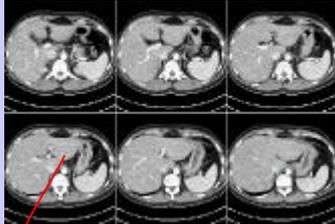
Gregoire Malandain - Epidaure



48

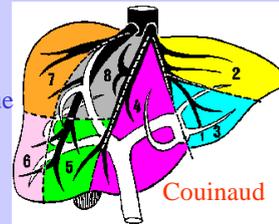
Planification de chirurgie hépatique

- Des images scanner à un modèle **géométrique** et **fonctionnel** (territoires vasculaires) du foie

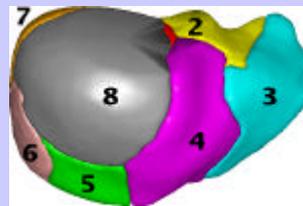
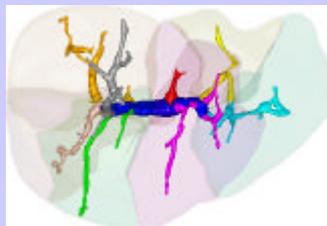


- Contours actifs
- Morphologie mathématique
- Topologie discrète

IRCAD



Couinaud



16/01/2003

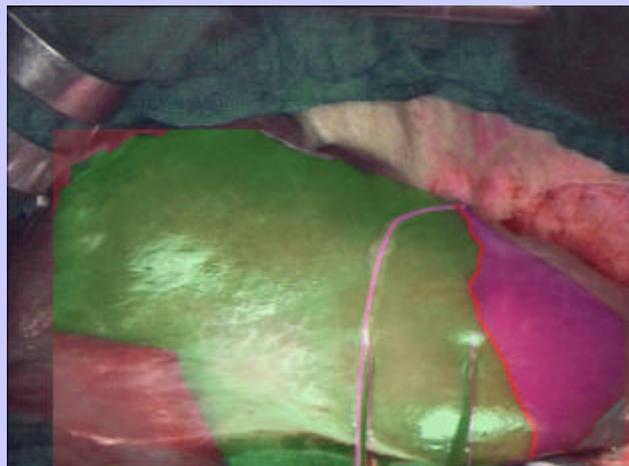


Gregoire Malandain - Epidaure



49

Réalité Augmentée



IRCAD

Luc Soler

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



50

Vaisseaux

16/01/2003



Gregoire Malandain - Epidaure



51