

Gérard Berry : Pourquoi et comment le monde devient numérique

De l'imagerie médicale au patient virtuel

21 Mars 2008

Collège de France



Nicholas Ayache

<http://www-sop.inria.fr/Asclepios/>



Gilles Kahn



1946-2006

Président de l'INRIA 2004-2006

Directeur Scientifique: 1994-2004

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



2

1632...



La Leçon d'Anatomie du Dr. Tulp
Rembrandt

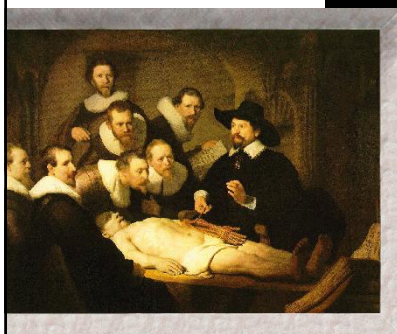
Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



3



Musculoskeletal System

Dinesh Pai, Rutgers

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



4

... 1895...



1901 : Willem Roentgen
Premier prix Nobel de Physique

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



5

XX^{ième} Siècle

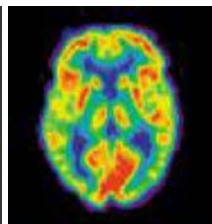
Scanner X



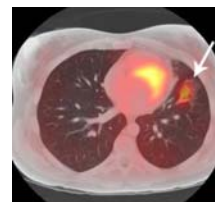
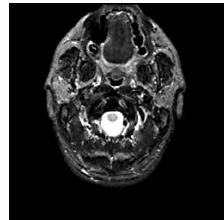
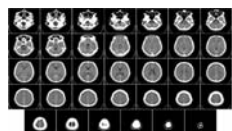
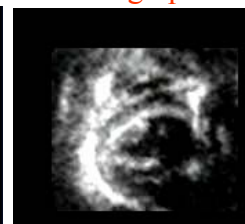
IRM



TEP



Echographie



Source : T. Peters

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



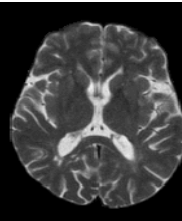
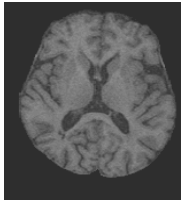
De l'imagerie médicale
au patient virtuel



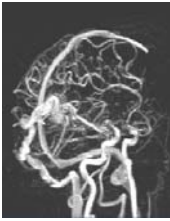
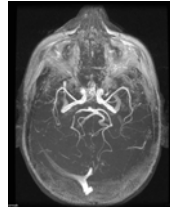
6

Images multiparamétriques

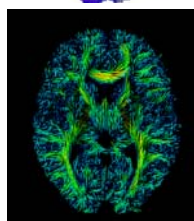
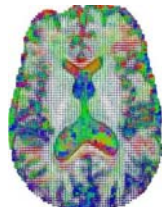
IRM T1, T2



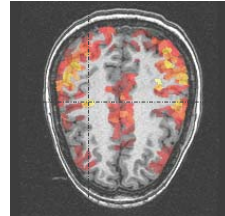
Angio IRM



IRMd



IRMf



Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



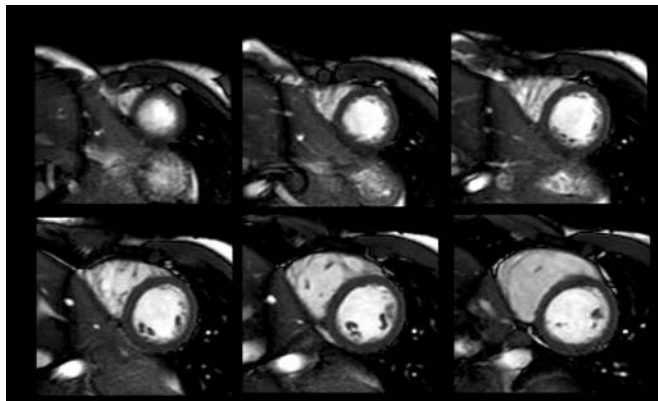
7

Images dynamiques (4-D)

Scanner X



IRM



Nicholas Ayache
21 Mars 2008



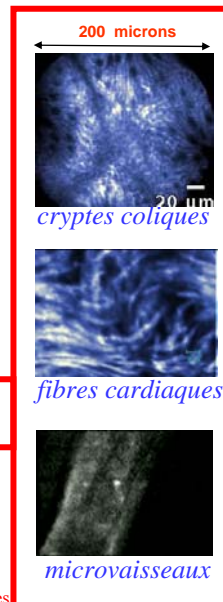
De l'imagerie médicale
au patient virtuel



8

Images nouvelles

- Tomographie Optique Cohérente (OCT)
- Elastométrie (IRM, US, etc.)
- Imagerie Spectroscopique
- Imagerie Terahertz
- Imagerie microscopique confocale *in vivo*
- etc.



Source : Mauna Kea Technologies

L'imagerie médicale aujourd'hui

- Nombreuses modalités d'imagerie *in vivo*
- Informations anatomiques et fonctionnelles
- Images multidimensionnelles, multiparamétriques
- Nouvelles modalités
- Grandes bases de données
- La quantité d'information ne peut plus être exploitée sans l'aide de l'informatique

Traitement informatique des images médicales

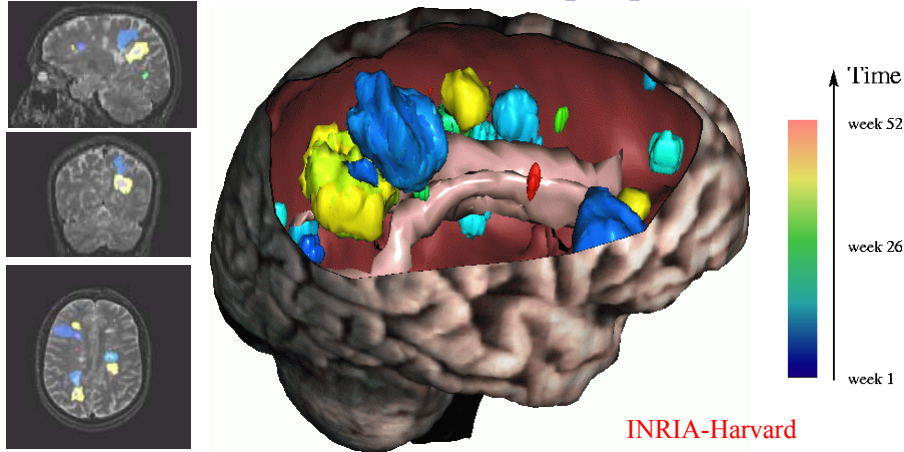
- La production des images médicales n'est plus une fin en soi, mais le *début* d'un processus d'analyse qui s'appuie sur des **algorithmes spécifiques de traitement d'images.**

Analyse informatique des images médicales (1980 – 2008)

- Aide au diagnostic
 - mesures quantitatives objectives
 - fusion d'images multimodales, multidimensionnelles, multiparamétriques, etc.
- Aide à la thérapie
 - Planification, simulation (*avant*)
 - Contrôle (*pendant*), suivi (*après*)

J. Duncan & N. Ayache, *Medical Image Analysis, Progress over two decades and the challenges ahead*, IEEE – Pami, 2000.

Cartographie spatio-temporelle des lésions de sclérose en plaques



INRIA-Harvard

D. Rey, G. Subsol, H. Delingette, N. Ayache : *Automatic Detection and Segmentation of Evolving Processes in 3D Medical Images: Application to Multiple Sclerosis*. *Medical Image Analysis*, 6(2):163-179, June 2002.

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel

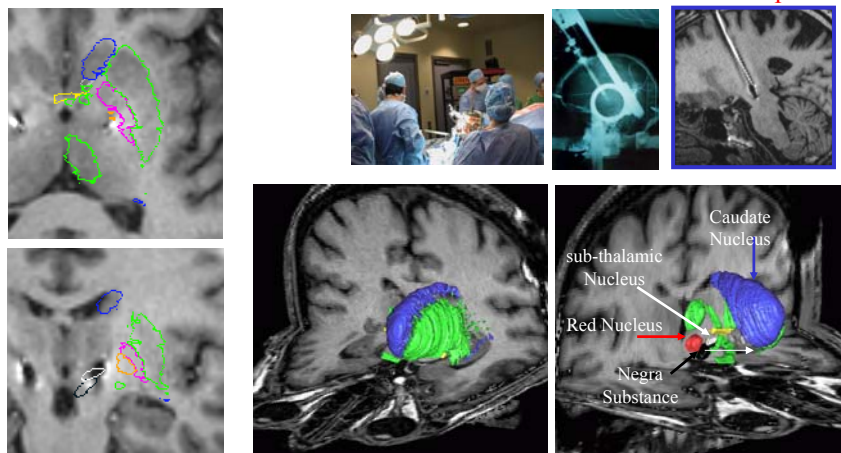


13

Neurochirurgie guidée par l'image

- Electrostimulation de patients Parkinsoniens

INRIA
Pitié Salpêtrière



J Yelnik, E Bardinet, D Dormont, G Malandain, S Ourselin, D Tande, C Karachi, N Ayache, P Cornu, Y Agid. *A three-dimensional, histological and deformable atlas of the human basal ganglia. I. Atlas construction based on immunohistochemical and MRI data*. *Neuroimage*, 2007

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

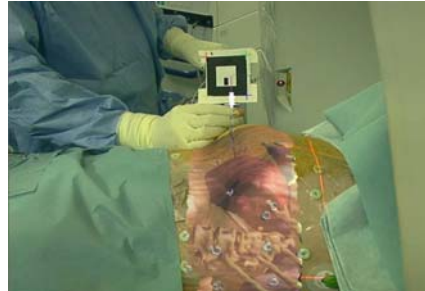


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



14

Réalité Augmentée



Ablation radio-fréquence de tumeurs hépatiques

INRIA - IRCAD

S. Nicolau, A. Garcia, X. Pennec, L. Soler, and N. Ayache. Augmented reality guided radiofrequency tumor ablation. *Computer Animation and Virtual World* 16(1) 2005.

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



15

Réalité Virtuelle



Ayache-Cotin-Delingette-1998



AIMS 1999
Epidure IMAGS Sinus

Picinbono-Delingette-Lombardo-Ayache 2001

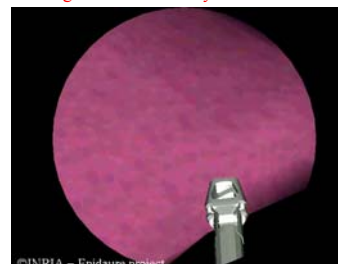


INRIA - IRCAD

Forest, Delingette, Ayache, 2003

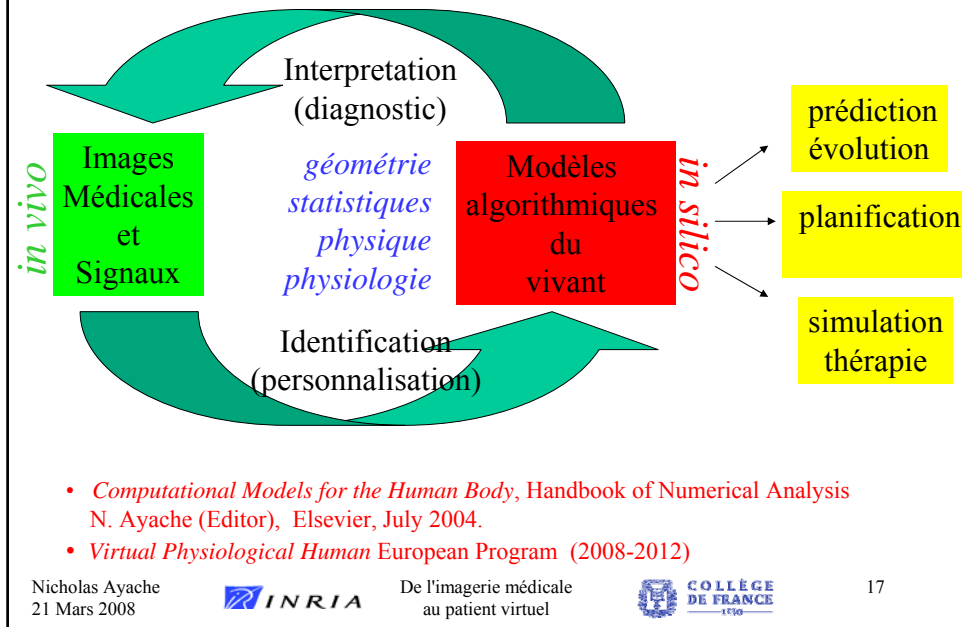


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



©INRIA - Epidure project

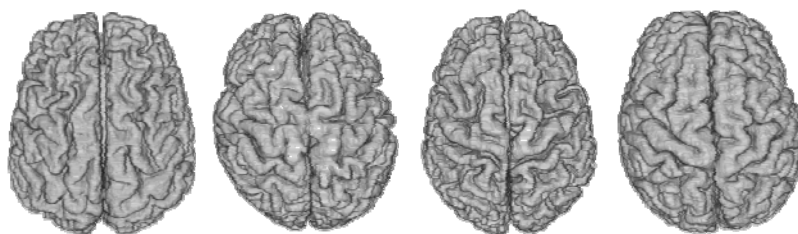
Tendance aujourd'hui



Quelques Illustrations

- Variabilité du cortex *Géométrie, Statistiques*
- Croissance tumorale
- Fonction cardiaque

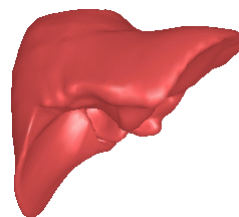
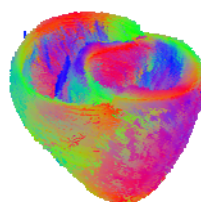
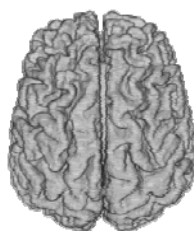
Variabilité structurelle du cortex



- Structure moyenne?
- Mesurer variabilité autour de cette moyenne?
- Détecter variations anormales?

Anatomie Algorithmique

Computational Anatomy



- Modélisation et analyse de la variabilité de l'anatomie humaine

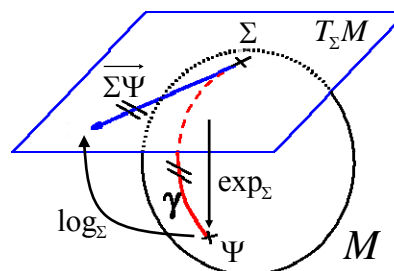
- P. Thompson, M. Miller, *Computational Anatomy, an emerging discipline*, NeuroImage special issue (2004)
- X. Pennec and S. Joshi, *Mathematical Foundations of Computational Anatomy*, MICCAI'06 workshop.
- F. Bookstein, C. Davatzikos, I. Dryden, O. Faugeras, T. Fletcher, P. Golland, G. Gerig, H. Tagare, S. Joshi, M. Styner, C. Twining, B. Vemuri, etc.

Statistiques sur des variétés anatomiques

- Méthode
 - Extraire des primitives géométriques
 - Repères, tenseurs, courbes, surfaces, volumes
 - Mise en correspondance (transformations)
 - Estimer des distributions de probabilité
- Problème difficile M. Miller, *NeuroImage* 2005
 - Bruit, combinatoire
 - Statistiques sur des variétés qui ne sont pas des espaces vectoriels

Définition d'un cadre riemannien

- Outils mathématiques
 - Cartes Logarithmiques et Exponentielles
 - Métrique riemannienne
 - Géodésiques
 - Moyenne de Fréchet
 - Matrice de covariance
 - Distance de Mahalanobis
 - etc.

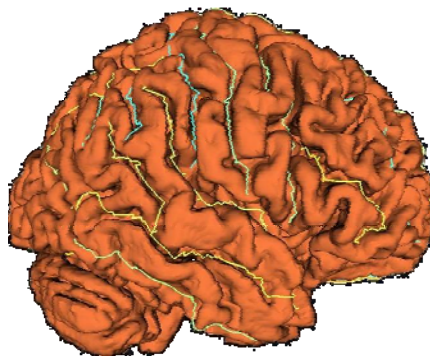


- Algorithmes efficaces de calcul

- X. Pennec & N Ayache *Uniform distribution, distance and expectation problems for geometric features processing*, *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, Vol.9, pp. 49–67, 1998.
- X. Pennec : *Intrinsic Statistics on Riemannian Manifolds: Basic Tools for Geometric Measurements*, *JMIV'06*.
- [Lenglet *JMIV'06*] [Moakher *SIAM'05*] [Batchelor *MRM'05*] [Fletcher *CVMIA'04*]

Utilisation des lignes sulcales

- 72 lignes sulcales
- 700 sujets et patients



• Collaboration avec LONI (UCLA) : P. Thompson et al.

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

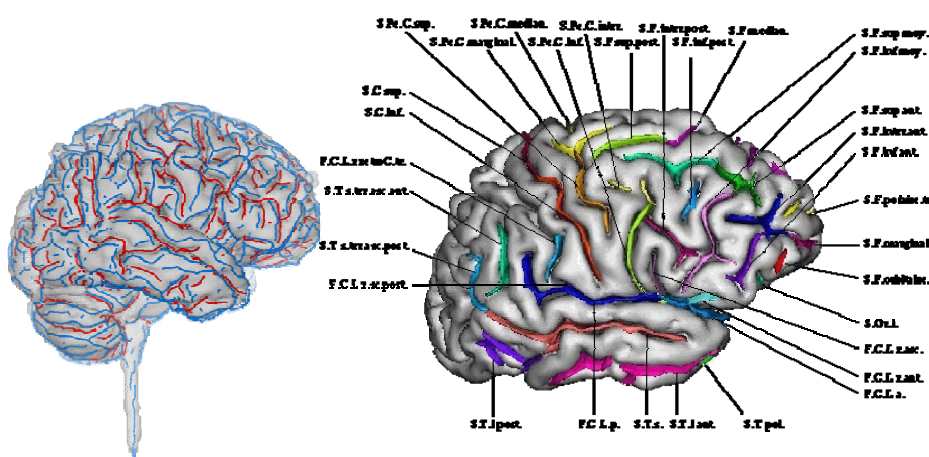


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



23

Extraction automatique



Penne-Ayache-Thirion-2000

J.F. Mangin, D. Rivière, 2003, SHFJ-CEA

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

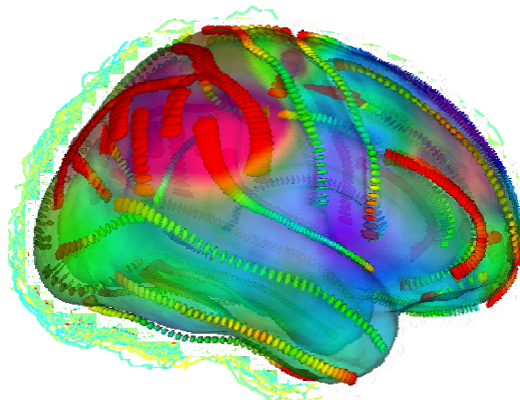


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



24

Variabilité des lignes sulcales



100 sujets

Normalisation
affine

Fillard, Arsigny, Pennec, Thompson, Ayache, IPMI 2005

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

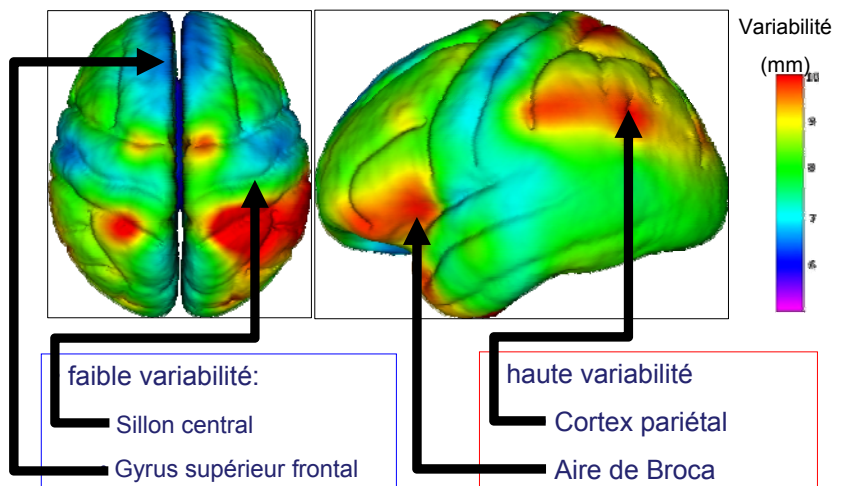


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



25

Variabilité corticale



faible variabilité:

Sillon central

Gyrus supérieur frontal

haute variabilité

Cortex pariétal

Aire de Broca

P. Fillard, V. Arsigny, X. Pennec, P. Thompson, N. Ayache *Extrapolation of Sparse Tensor Fields: application to the Modeling of Brain Variability*. In *Neuroimage* 2007

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



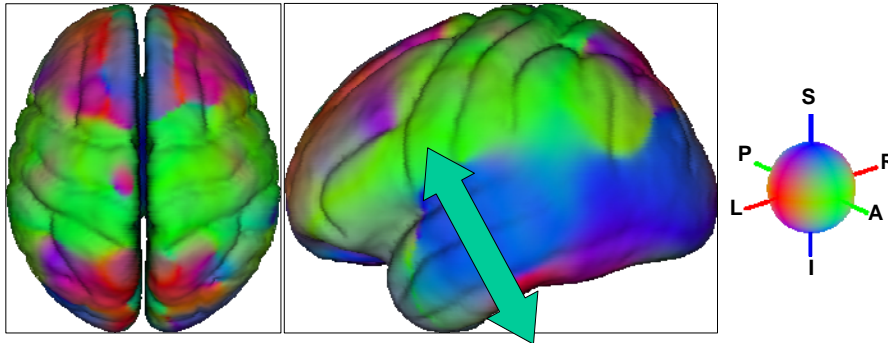
De l'imagerie médicale
au patient virtuel



26

Variabilité Corticale : directions privilégiées

Vecteur
propre
principal



P. Fillard, V. Arsigny, X. Pennec, P. Thompson, N. Ayache *Extrapolation of Sparse Tensor Fields: application to the Modeling of Brain Variability*. In *Neuroimage 2007*

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



27

Perspectives médicales

- Exploiter statistiques et géométrie
 - Mieux normaliser les analyses de groupes (contrôles, patients, imagerie fonctionnelle)
 - Mieux guider la superposition d'atlas (représentations moyennes) sur un individu

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

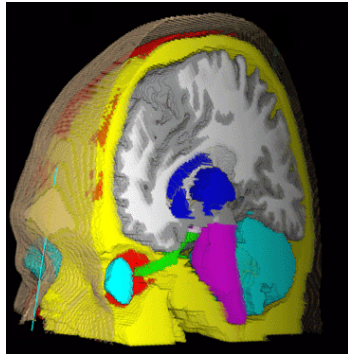


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



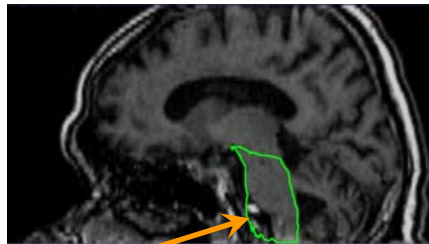
28

Ajustement d'atlas

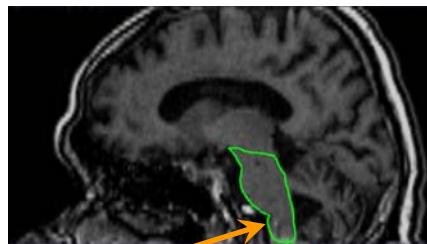


• O Commowick, R Stefanescu, P Fillard, V Arsigny, N Ayache, X Pennec, G Malandain. *Incorporating Statistical Measures of Anatomical Variability in Atlas-to-Subject Registration for Conformal Brain Radiotherapy*. MICCAI 2005.

Sans information statistique



Avec l'information statistique



Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



29

Quelques Illustrations

- Variabilité du cortex
- **Croissance tumorale**
- Fonction cardiaque

Géométrie, Statistiques

*Géométrie, Physique,
Physiopathologie*

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



30

Modéliser la croissance de tumeurs cérébrales

- Pour
 - Affiner l'analyse de la tumeur
 - mieux prédire sa frontière réelle
 - anticiper son évolution (effet de masse)

Coll. CAL-CHU (Nice) & SPL BWH (Harvard)

Autres travaux: Byrne, Chaplain, Ashraf-Davatzikos, Murray, Swanson, Tracqui, Jbadbi-Benali, etc....

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel

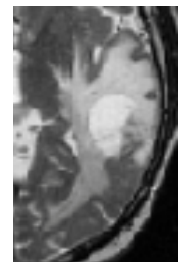


31

IRM



Mars



Septembre

Modèle Géométrique



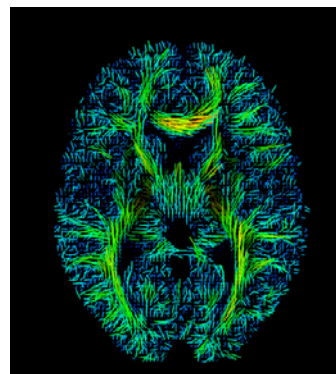
IRM T1 Segmentée
(Brainweb)

MG, MB, LCR, Crâne, etc.

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



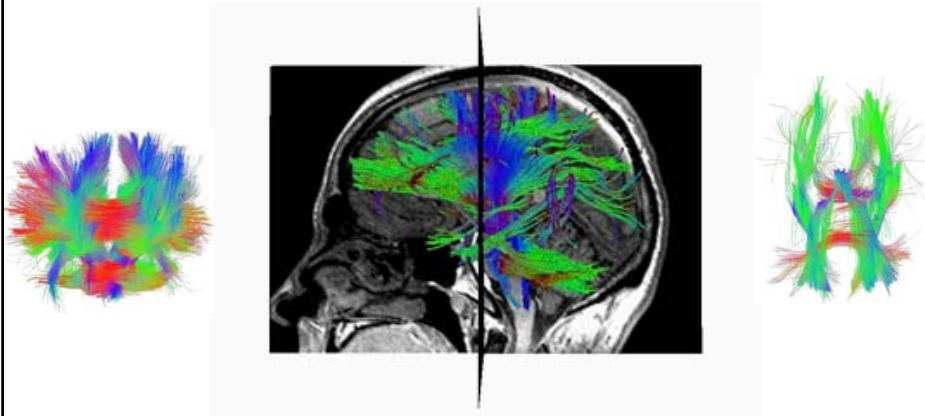
DTI

Principaux faisceaux
de fibres de MB



32

Faisceaux de fibres reconstruits



Pierre Fillard



Nicholas Ayache
21 Mars 2008

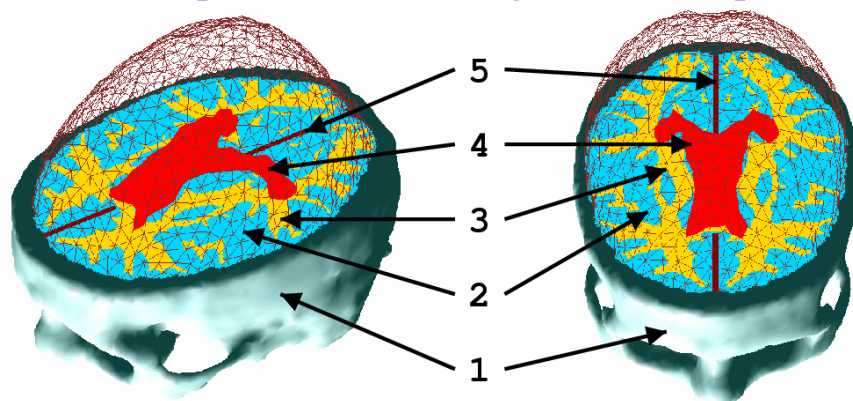


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



33

Modèle biomécanique élastique linéaire hétérogène anisotrope



1 Crâne. 2 Matière grise 3 Matière blanche.
4 Ventricules. 5 Faux

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



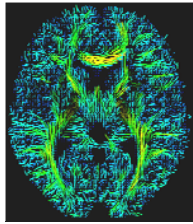
34

Modèle Physiopathologique

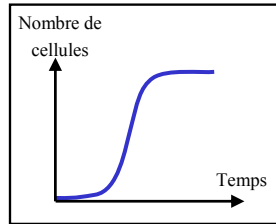
Fisher Kolmogorov

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla c) + \rho c(1-c)$$

Migration cellulaire anisotrope



Multiplication cellulaire

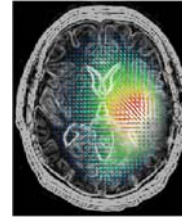


c densité tumorale

Couplage biomécanique

$$\text{div}(\sigma - \alpha c I_3) + F_e = 0$$

Effet de masse associé



Collaboration Centre Antoine Lacassagne et Harvard



O. Clatz, M. Sermesant, P.-Y. Bondiau, H. Delingette, S. Warfield, G. Malandain, N. Ayache. Realistic Simulation of the 3D Growth of Brain Tumors in MR Images Including Diffusion and Mass Effect. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 24(10):1334-1346, Oct. 2005.

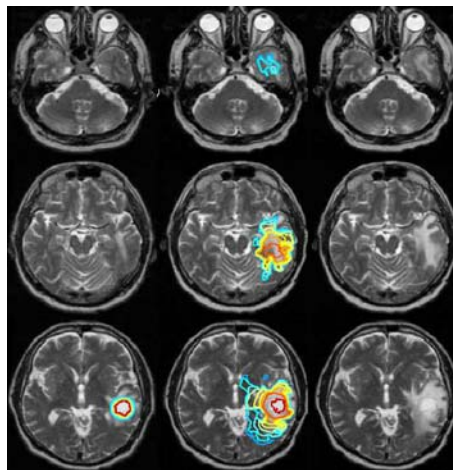
Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



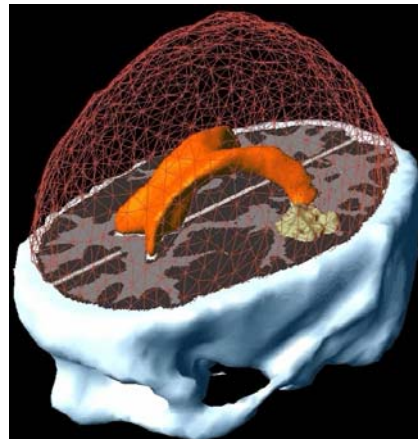
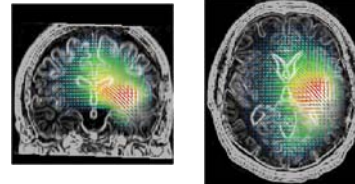
35



Mars

Septembre
Simulation

Septembre



O. Clatz, M. Sermesant, P.-Y. Bondiau, H. Delingette, S. Warfield, G. Malandain, N. Ayache. Realistic Simulation of the 3D Growth of Brain Tumors in MR Images Including Diffusion and Mass Effect. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 24(10):1334-1346, Oct. 2005.

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



36

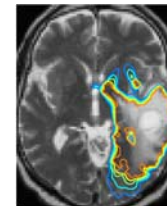
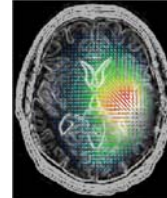
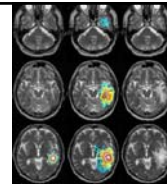
Actuellement

A) Identification automatique des paramètres de prolifération et diffusion

E. Konukoglu, O. Clatz, P.Y. Bondiau, M. Sermesant, H. Delingette, and N. Ayache.
Towards an Identification of Tumor Growth Parameters from Time Series of Images,
MICCAI 2007

B) Prédiction de la distribution des cellules tumorales au delà de la frontière visible en IRM

E. Konukoglu, O. Clatz, P.Y. Bondiau, H. Delingette, N. Ayache.
Extrapolating Tumor Invasion Margins for Radiotherapy. MICCAI 2006.



Nicholas Ayache
21 Mars 2008



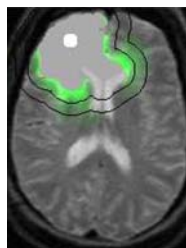
De l'imagerie médicale
au patient virtuel



37

Perspectives Médicales

- Paramètres du modèle utiles pour guider le choix thérapeutique (chirurgie, radiothérapie, chimiothérapie)
- Adaptation personnalisée des marges dosimétriques



Radiothérapie : marges
constantes ou adaptatives



Cyberknife au CAL, Nice

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



38

Quelques Illustrations

- Variabilité du cortex *Géométrie, Statistiques*
- Croissance tumorale *Géométrie, Physique, Physiopathologie*
- **Fonction cardiaque** *Géométrie, Statistiques, Physique, Physiologie*

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



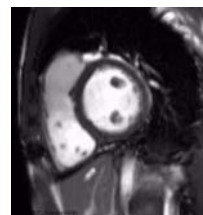
De l'imagerie médicale
au patient virtuel



39

Modèle électro-mécanique du coeur

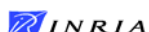
- **Simuler et Analyser** des pathologies électriques et mécaniques à partir
 - des images cardiaques et
 - de l'ECG (électrocardiogramme)



*Equipes INRIA: Asclepios, Sisyphé, Caiman, Macs, Reo, etc.
+ Guy's Hospital, NIH, Philips, etc.*

Travaux antérieurs : D. Noble, P. Hunter, etc.

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



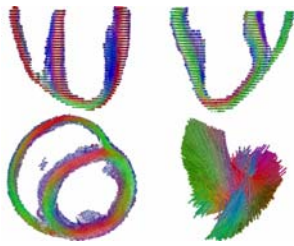
De l'imagerie médicale
au patient virtuel



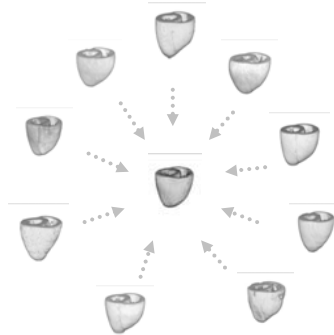
40

1. Géométrie & statistiques

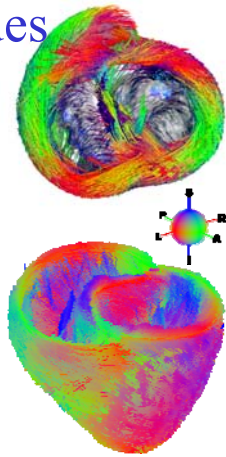
- IRM (E. McVeigh, NIH)



IRM - DTI



Analyse Statistique



Structure Moyenne

J.M. Peyrat, M. Sermesant, X. Pennec, H. Delingette, C. Xu, E. McVeigh, N. Ayache *A Computational Framework for the Statistical Analysis of Cardiac Diffusion Tensors: Application to a Small Database of Canine Hearts*. IEEE Transactions on Medical Imaging, 26(11):1500-1514, November 2007

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

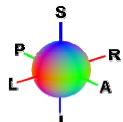
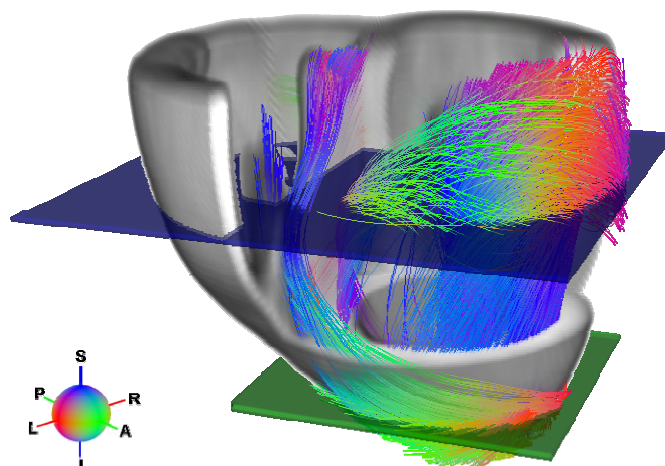


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



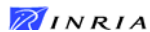
41

Structure moyenne des fibres



<http://www.inria.fr/asclepios/software/MedINRIA>

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

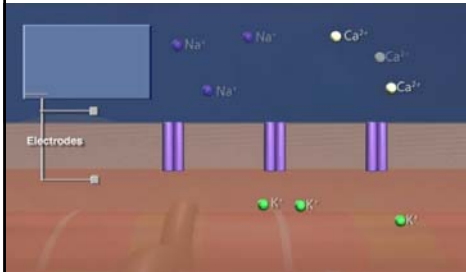


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



42

2. Electrophysiologie



1. Modèles ioniques
Hodgkin-Huxley, Luo-Rudy, Noble
2. Modèles phénoménologiques
FitzHugh-Nagumo, Aliev-Panfilov
3. Equation eikonale
Keener, Colli-Franzone

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}(D\nabla u) + f(u) - z \\ \frac{\partial z}{\partial t} = b(u - cz) \end{cases}$$

u potentiel d'action transmembranaire
 D Tenseur de diffusion (orientation fibres)
 z variable de repolarisation

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

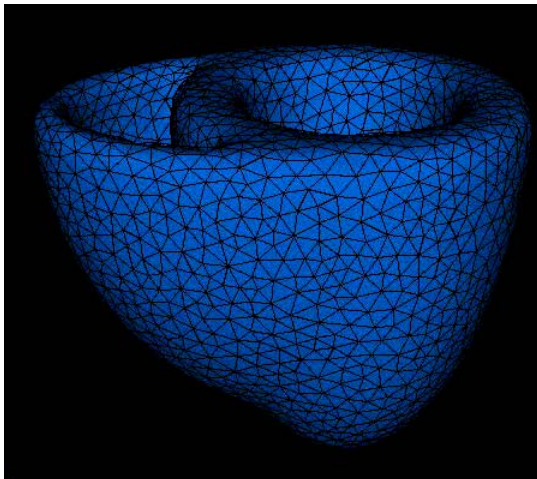


De l'imagerie médicale
au patient virtuel

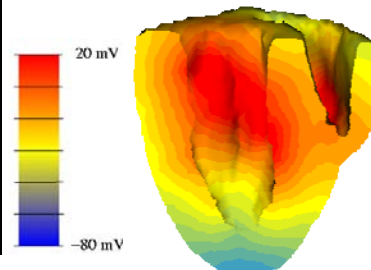


43

Simulation électrique



$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}(D\nabla u) + f(u) - z \\ \frac{\partial z}{\partial t} = b(u - cz) \end{cases}$$



Couleur : potentiel d'action u

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



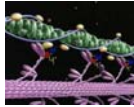
De l'imagerie médicale
au patient virtuel



44

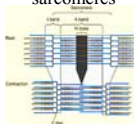
3. Modèle électro-mécanique

ATP



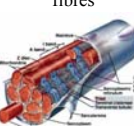
nano

sarcomères



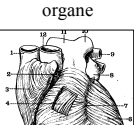
micro

fibres



méso

organe



macro

Inspiré par le modèle rhéologique de Hill-Maxwell

Modèle de **Bestel-Clément-Sorine**

Matériau contractile non linéaire viscoélastique anisotrope et incompressible

$$\rho \ddot{P} - \text{div}(K_p \mathcal{E}_p + C_p \dot{\mathcal{E}}_p + \sigma_c + C_c \dot{\mathcal{E}}_c + K_c \xi_0) = 0$$

$$\partial_t K_c = K_0 |u|_+ - (|\dot{\mathcal{E}}_c| + |u|) K_c$$

$$\partial_t \sigma_c = \sigma_0 |u|_+ - (|\dot{\mathcal{E}}_c| + |u|) \sigma_c + K_c \dot{\mathcal{E}}_c$$

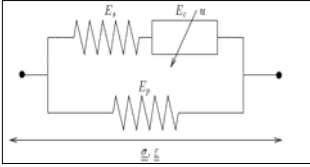
$$\sigma_c + C_c \dot{\mathcal{E}}_c + K_c \xi_0 = K_s (\mathcal{E}_p - \mathcal{E}_c)$$

K_c raideur



u potentiel d'action

\mathcal{E}_c déformation

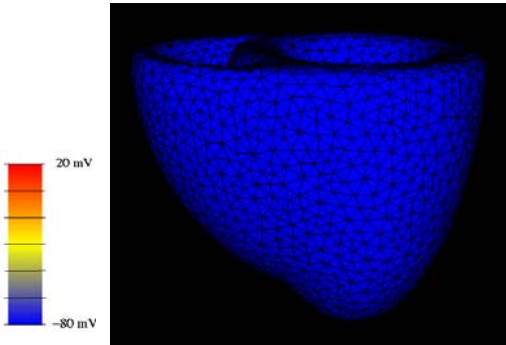
σ_c contrainte



J. Bestel, F. Clément, and M. Sorine. *A Biomechanical Model of Muscle Contraction* MICCAI 2001.

Nicholas Ayache
21 Mars 2008
 De l'imagerie médicale
au patient virtuel
 COLLÈGE
DE FRANCE
1396
45

Simulation électro-mécanique





- u contrôle les éléments contractiles:
 - $u > 0$: Contraction
 - $u \leq 0$: Relaxation
- u modifie aussi la raideur k du matériau

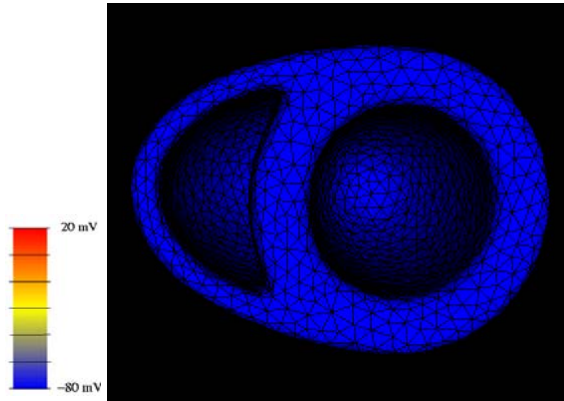
Potentiel d'action u

M. Sermesant, H. Delingette, N. Ayache. *An Electromechanical Model of the Heart for Image Analysis and Simulation*. IEEE Transactions on Medical Imaging, 25(5):612-25, May 2006.

Ayache-Chapelle-Clément-Coudière-Delingette- Sermesant-Sorine (FIMH'01)

Nicholas Ayache
21 Mars 2008
 De l'imagerie médicale
au patient virtuel
 COLLÈGE
DE FRANCE
1396
46

Simulation électro-mécanique



- 4 phases physiologiques:
 - remplissage
 - contraction
 - éjection
 - Relaxation
- 2 contraintes volumiques:
 - Champ de pression endocardique
 - Contraction isovolumique des ventricules

Potentiel d'action u

M. Sermesant, H. Delingette, N. Ayache. *An Electromechanical Model of the Heart for Image Analysis and Simulation*. IEEE Transactions on Medical Imaging, 25(5):612-25, May 2006.

Ayache-Chapelle-Clément-Coudière-Delingette- Sermesant-Sorine (FIMH'01)

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



47

Paramètres physiologiques



D. Chapelle, P Moireau, M. Sermesant, M. Fernandez, H. Delingette: *Le cœur numérique*, DVD - INRIA

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



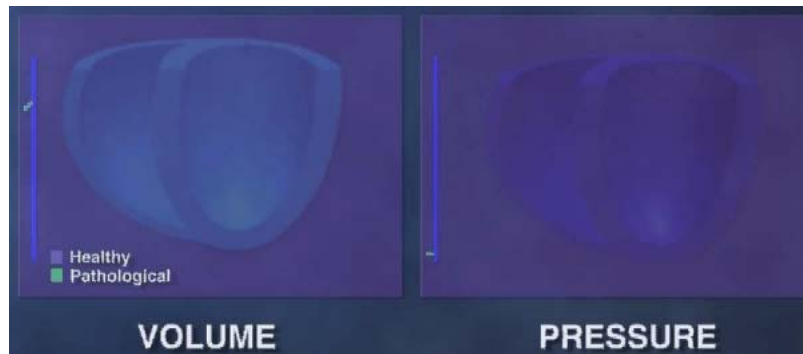
48

Simulation de pathologies

Ralenti

9 fois

Bloc de Branche Gauche



D. Chapelle, P Moireau, M. Sermesant, M. Fernandez, H. Delingette: Le cœur numérique, DVD - INRIA

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



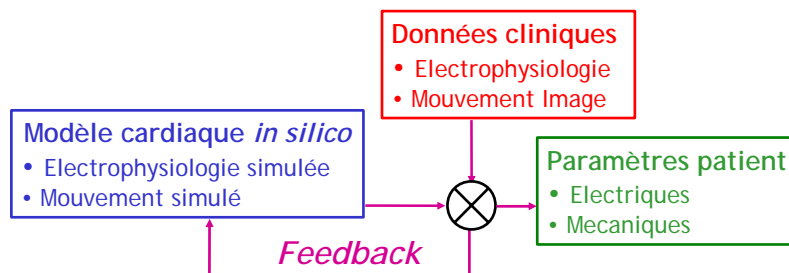
De l'imagerie médicale
au patient virtuel



49

Modèles personnalisés

Comparer **simulation** et **mesures**
pour **apprendre** les paramètres du modèle



• Moreau-Villegier, Delingette, Sermesant, Mc Veigh, N.A. et al., IEEE Trans. on BioEng. 2006

• Sermesant, Moireau, Sainte-Marie, Hill, Chapelle, Razavi et al., Medical Image Analysis 2006

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



50

Mesures cliniques *in vivo*: Imagerie interventionnelle XMR

Reza Razavi , Derek Hill
King's College, division of Imaging
Sciences
The Guy's, King's and St Thomas' School
of Medicine

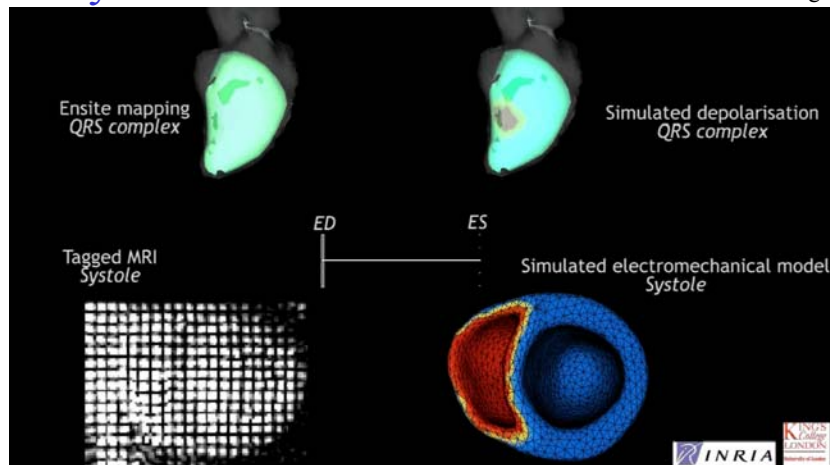


Razavi R, Hill DL, Keevil SF, Miquel ME, Muthurangu V, Hegde S, Rhode K, Barnett M, van Vaals J, Hawkes DJ, Baker E. Cardiac catheterisation guided by MRI in children and adults with congenital heart disease. *Lancet*. 2003 Dec 6; 362(9399): 1877-82.

INRIA

Personnalisation d'une désynchronisation ventriculaire

Homme, 68 ans,
Bloc de Branche gauche



Sermesant M, Rhode K, Sanchez-Ortiz GJ, Camara O, Andriantsimiavona R, Hegde S, Rueckert D, Lambiase P, Bucknall C, Rosenthal E, Delingette H, Hill DL, N.A., Razavi R. *Simulation of cardiac pathologies using an electromechanical biventricular model and XMR interventional imaging*. *Med Image Anal*. 2005 Oct;9(5):467-80.

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

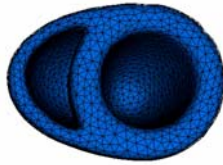
INRIA

De l'imagerie médicale
au patient virtuel

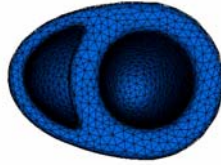
COLLÈGE
DE FRANCE
1396

52

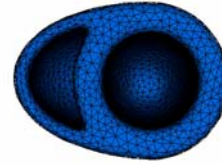
Personnalisation d'une resynchronisation



Infarct antero septal
Bloc de branche gauche
FE = 41%

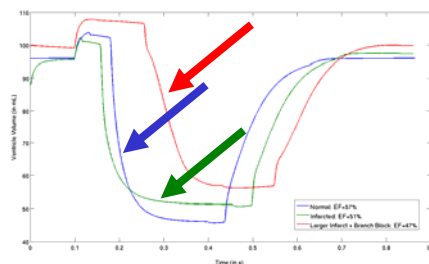


resynchronisation
bi-ventriculaire
FE = 47%



standard
FE = 57%

*Ralenti
3 fois*



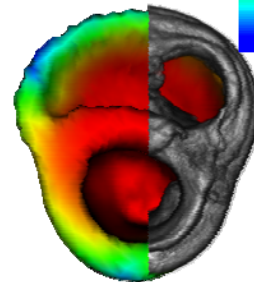
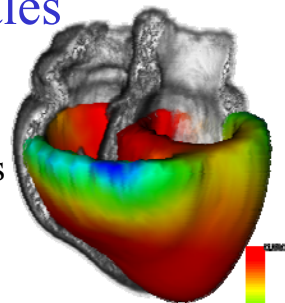
Nicholas Ayache
21 Mars 2008

COLLÈGE
DE FRANCE
—1756—

53

Perspectives médicales

- Diagnostic plus précis
 - paramètres électriques et mécaniques du modèle 3-D
- Simulation réaliste de thérapies
 - resynchronisation cardiaque
 - ablation radiofréquence
 - cellules souches, etc.



- **EuHeart (VPH): 2008-2012**
Virtual Physiological Human

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

INRIA

De l'imagerie médicale
au patient virtuel

COLLÈGE
DE FRANCE
—1756—

54

Pour terminer

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

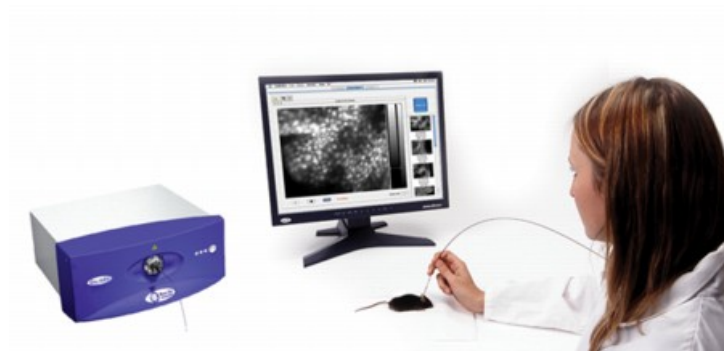


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



55

Imagerie microscopique confocale fibrée *in vivo*



Cellvizio®, Mauna Kea Technologies (MKT), Paris

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



56

oreille foie rein

cerveau

Cornée

Cœur

Mésentère ganglions Muscle

Colon vessie JNM

LEICA & Mauna Kea Technology

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

INRIA

De l'imagerie médicale
au patient virtuel

COLLÈGE
DE FRANCE
136

57

Imagerie microscopique *in vivo*

300 microns

50 μ m

Muqueuse
gastro-oesophagienne

Pr A. Meining, Munich

Cellvizio®, Mauna Kea Technologies (MKT), Paris

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

INRIA

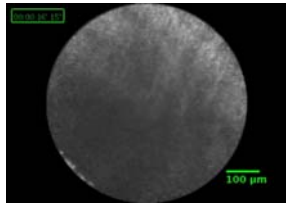
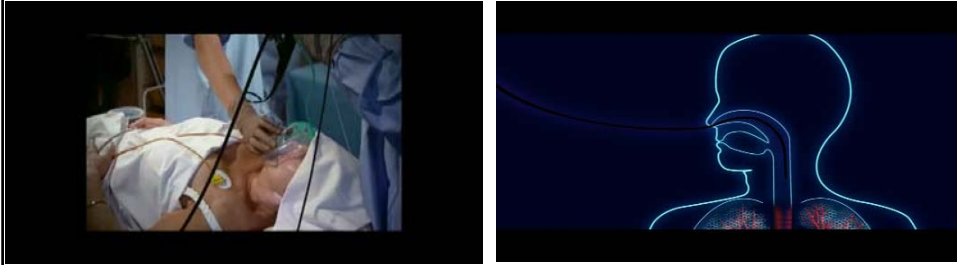
De l'imagerie médicale
au patient virtuel

COLLÈGE
DE FRANCE
136

58

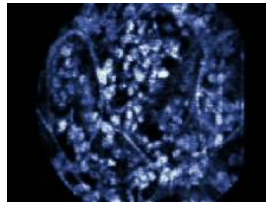
Endoscopie pulmonaire

Pr. L. Thiberville
CHU Rouen, France



alvéoles

Mauna Kea
Technologies



alvéoles et macrophages

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

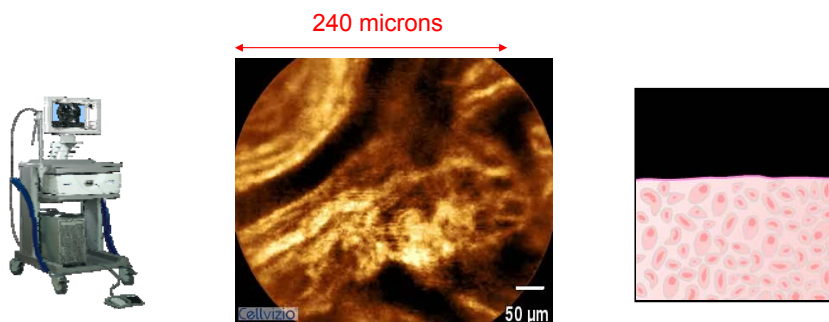


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



59

Traitement numérique des images



Intestin grêle

Précision et champ de vue?

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

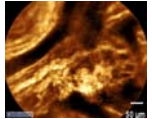
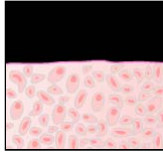


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



60

Mosaïques numériques



240 microns



Intestin grêle

T. Vercauteren, A. Perchant, X. Pennec, G. Malandain, N. Ayache, *Robust Mosaicing with Correction of Motion Distortions and Tissue Deformation for In Vivo Fibred Microscopy*. *Medical Image Analysis*, 10(5):673-692, October 2006.

Nicholas Ayache
21 Mars 2008

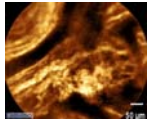


De l'imagerie médicale
au patient virtuel



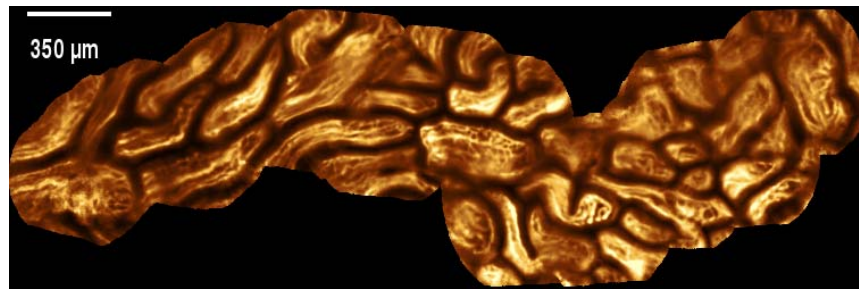
61

Mosaïques numériques



240 microns

Post-traitements : rotations et déformations



3600 microns

Intestin grêle

T. Vercauteren, A. Perchant, X. Pennec, G. Malandain, N. Ayache, *Robust Mosaicing with Correction of Motion Distortions and Tissue Deformation for In Vivo Fibred Microscopy*. *Medical Image Analysis*, 10(5):673-692, October 2006.

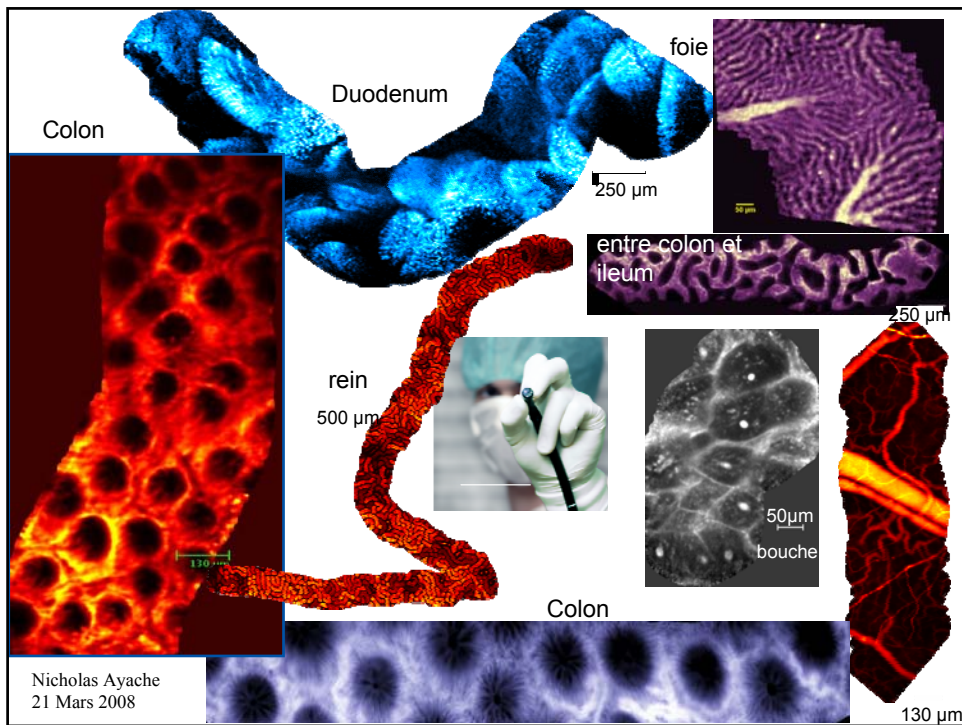
Nicholas Ayache
21 Mars 2008



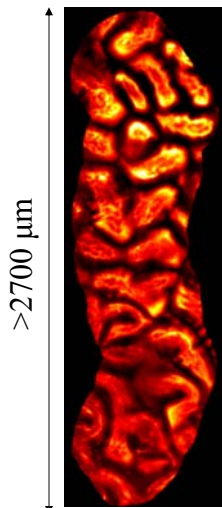
De l'imagerie médicale
au patient virtuel



62



Applications Médicales

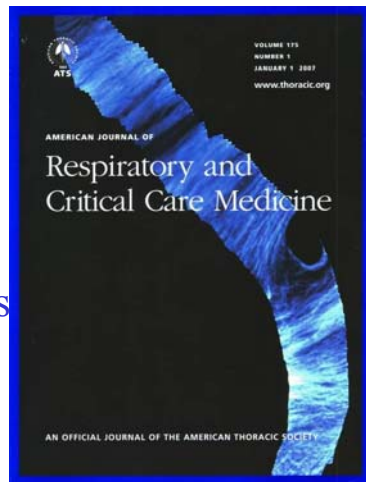


Biopsies optiques

colon



Bronches



L Thiberville, S Moreno-Swirc, T Vercauteren,
E Peltier, C Cavé, G Bourg Heckly.
**In Vivo Imaging of the Bronchial Wall Microstructure
Using Fibered Confocal Fluorescence Microscopy.**
Am. J. Respir. Crit. Care Med., 175(1):22-31, January 2007

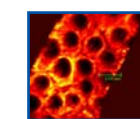
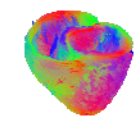
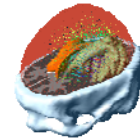
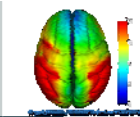
Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



64



Conclusion : l'analyse informatique des images médicales

- en confrontant
 - images numériques *in vivo*
 - modèles algorithmiques du vivant
- prépare de nouveaux outils
 - d'exploration et de simulation du vivant
 - pour la médecine et la biologie du XXIème siècle.... **numérique.**

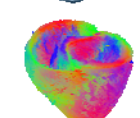
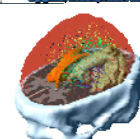
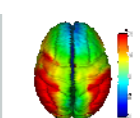
Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



65



Remerciements

- Equipe-projet Asclépios de l'INRIA
- Partenaires académiques, cliniques, industriels

www-sop.inria.fr/asclepios

Nicholas Ayache
21 Mars 2008



De l'imagerie médicale
au patient virtuel



66