

# Monte-Carlo simulation for nuclear medicine in a grid environment

Vincent Breton – Lydia Maigne

Journée Ciment-GRID

20/2/03

# développer une interface software entre la physique corpusculaire et les sciences de la vie

Déploiement d'une grille de calculs pour la bio-informatique

- ▣ gestion des flux de données générés par les expériences de génomique
- ▣ on retrouve les mêmes problèmes en physique des particules, en imagerie médicale

- ▣ optimiser les performances des détecteurs et des traitements
- ▣ améliorer la qualité des images
- ▣ étudier la faisabilité de nouvelles solutions technologiques ou médicales

Simulations Monte-Carlo avec GEANT4 en imagerie médicale et en curie-/radiothérapie

# L'équipe PCSV

## une recherche pluridisciplinaire

### Centre Jean Perrin

Département de radiothérapie

Dépôt de dose de plaques ophtalmiques

### CURIETHERAPIE

D. Donnarieix  
L. Maigne

### MEDECINE NUCLEAIRE

D. Lazaro

### BIO-INFORMATIQUE

Y. Legré

DataGRID

### Collaboration OpenGATE

développement d'une plate-  
forme de simulation Monte-  
Carlo en médecine nucléaire

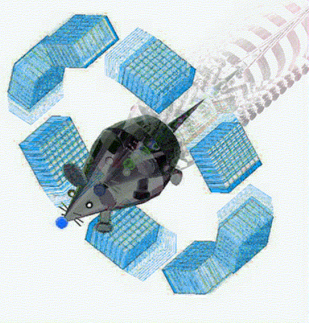
**INSERM U494 (Paris)**  
simulation SPECT

### IASA Athènes

validation de GATE sur  
une gamma-caméra petit  
animal

### Centre Jean Perrin

Service de médecine nucléaire

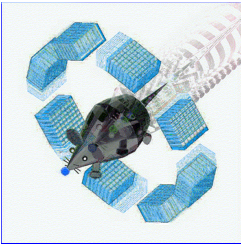


**Geant4**  
**Application for**  
**Tomographic**  
**Emission**

# GATE

**a Monte-Carlo simulation platform**  
**for nuclear medicine based on**  
**GEANT4**

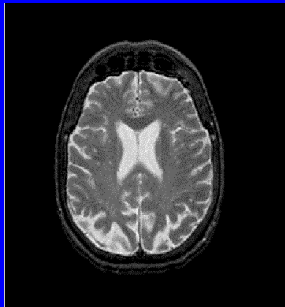




# Two imaging modalities

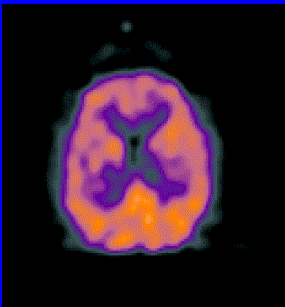
## ▣ morphological imaging (MRI, scanner, X-rays...)

- detailed information about the patient anatomy



## ▣ Functional imaging (nuclear medicine: SPECT, PET, ...)

- non-invasive method: a radioactive drug is injected to the patient and naturally evacuated from the organism
- spatial distribution of the radiopharmaceutical in the body
  - ↳ study of the functional activity of an organ or a specific tissue (e.g tumor)



### PET

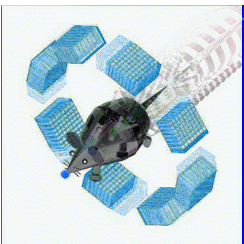
- ✓ Positron emitters ( $^{18}\text{F}$ FDG  $\approx$  2 h)
- ✓ Resolution down to 2 mm

### SPECT

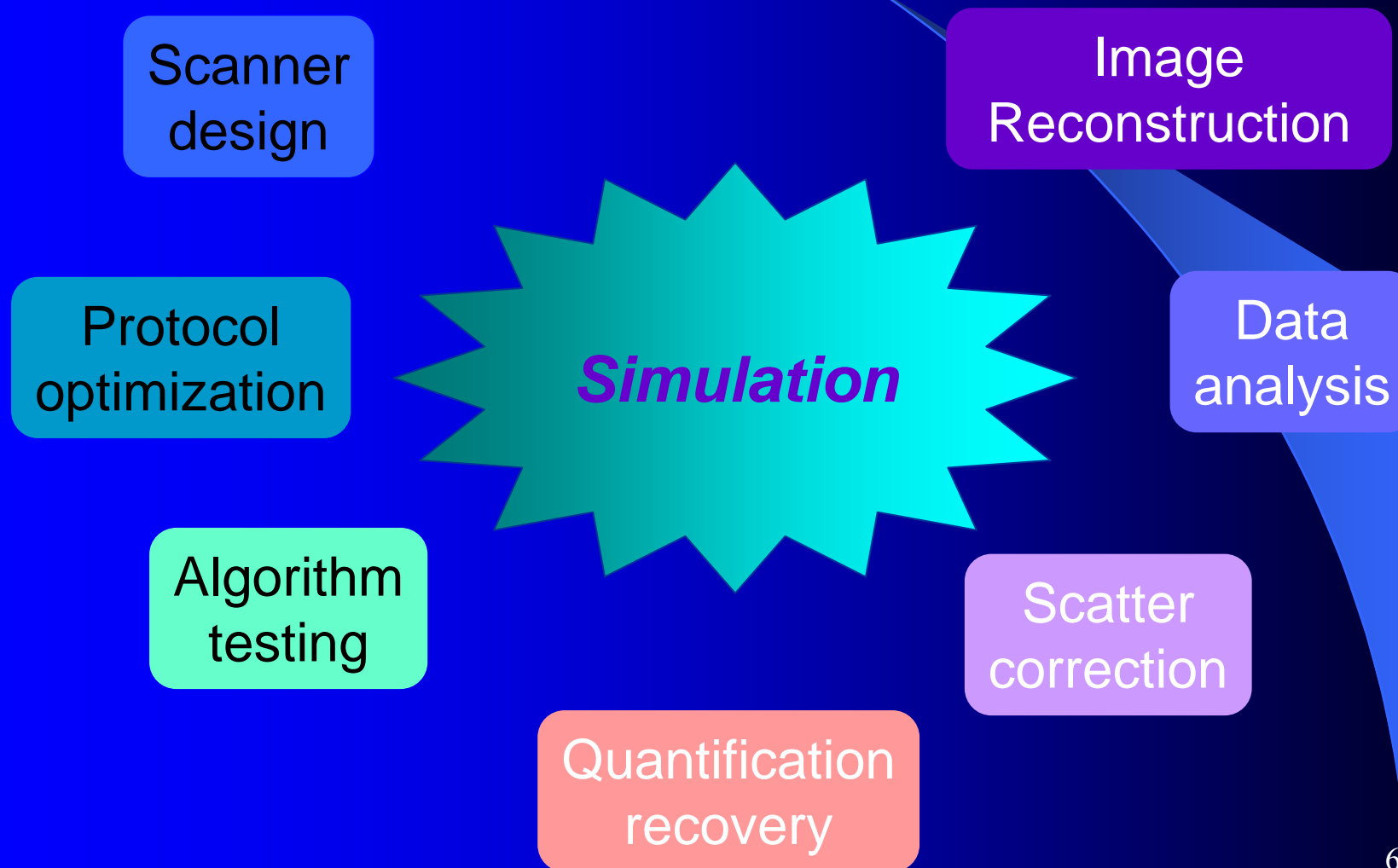
- ✓ Single photon emitters ( $^{99\text{m}}\text{Tc} \approx$  6 h)
- ✓ Resolution down to 7 mm

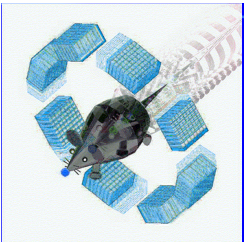
### Multimodality

- ✓ Combined imaging modalities (e.g PET/CT)
- ✓ Resolution improved



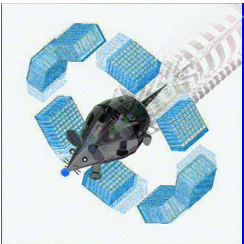
# Why simulations in Nuclear Medicine?





# Two approaches...

- General purpose simulation codes (GEANT4, EGS4, MCNP...)
  - 😊 wide range of physics
  - 😊 wide community of developers and users
  - 😊 documentation, maintenance and support
  - 😞 complexity
  - 😞 speed
- Dedicated simulation codes (PETsim, SimSET, Eidolon,...)
  - 😊 optimized for nuclear medical imaging applications (geometry, physics...)
  - 😊 ease of use and fast development
  - 😞 maintenance, upgrades



# GATE: an attempt to merge both approaches

PET/SPECT  
dedicated tools

GEANT4 core  
potentialities

GATE

## Realistic modelisation of PET/SPECT experiments

- modelisation of detectors, sources, patient
- movement (detector, patient)
- time-dependent processes (radioactive decay, movement management, biological kinetics)

## Ease-of-use

## Fast

## Long-term availability, support and training



# GATE unique potentialities take advantage of GEANT4 toolkit and new developments

## SCANNER DESCRIPTION

- **Geometry**
  - script  
(detectors, materials, ...)
- **Properties**
  - spectral resolution...

## DYNAMICS

- **Detector continuous movement**
  - rotation: SPECT, PET
  - specific moves
- **Source movement**
  - patient (heart beat...)
  - external source

## USER FRIENDLY

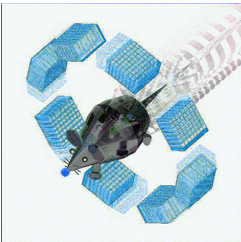
- graphical interface
- user guide, examples

## RADIOACTIVE SOURCES

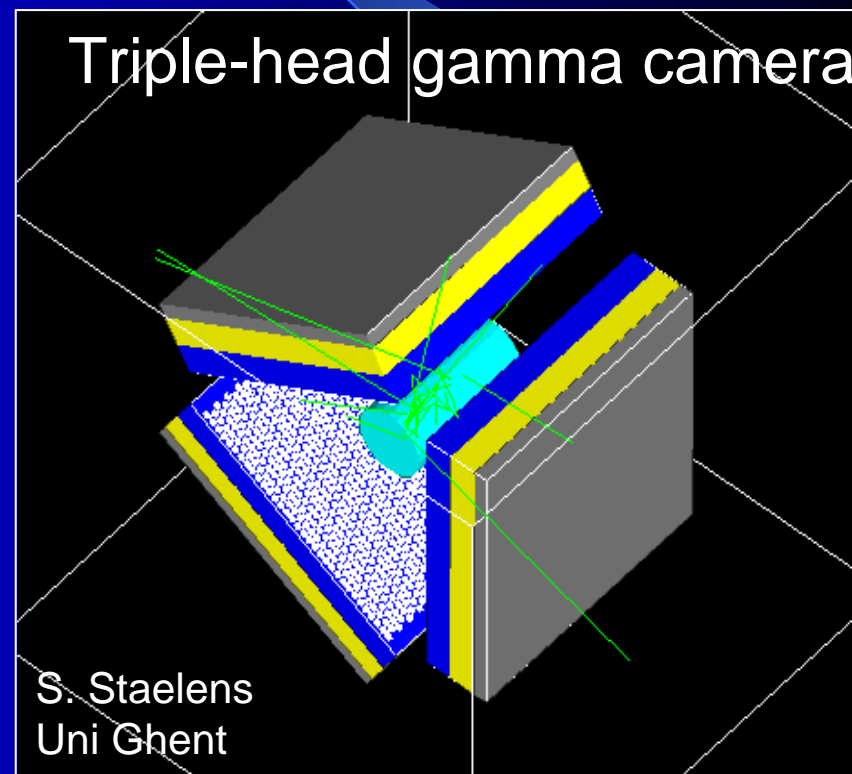
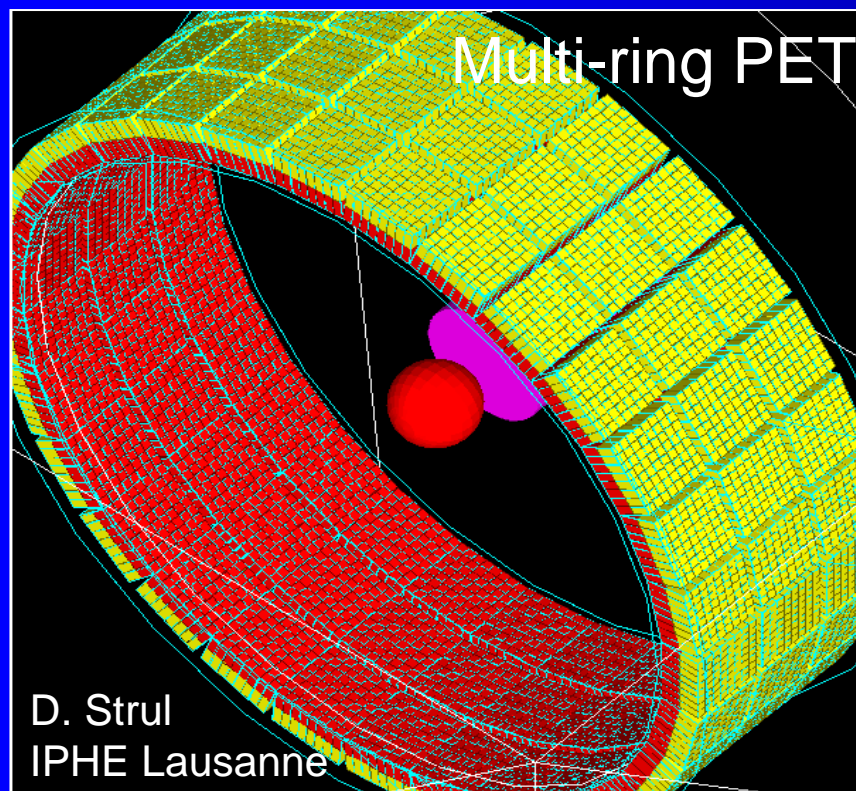
- **Radioactive decay**
- **Digital images**
  - complex emission and absorption cards

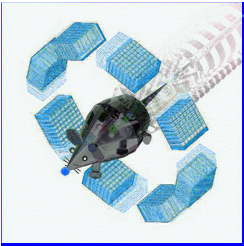
## TIME

- **Physical dynamics : decay**
- **Biological dynamics : drug kinetics**
- **Movements**



# Geometry examples of GATE applications

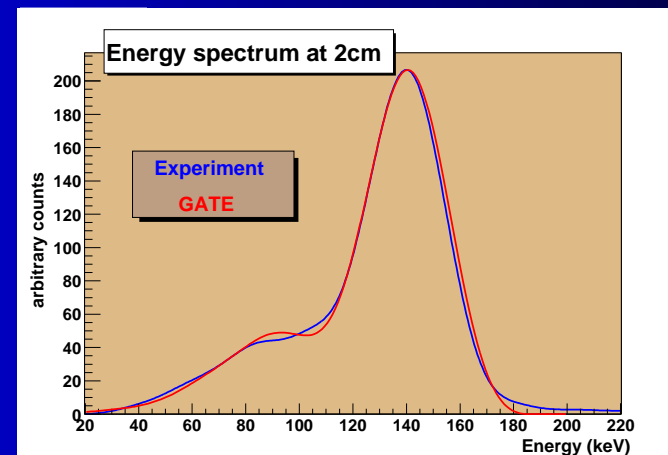
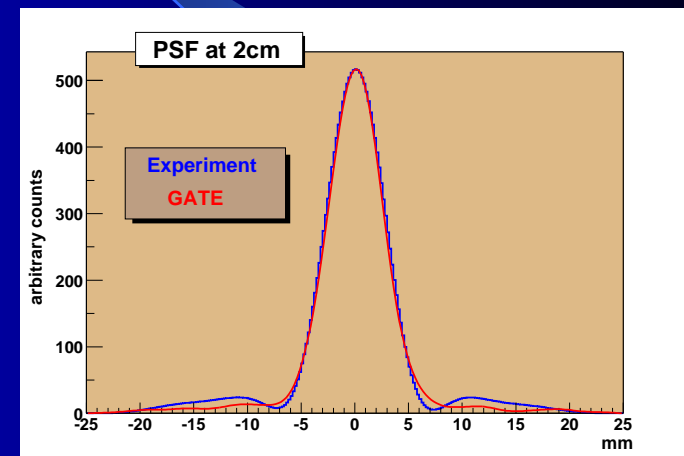
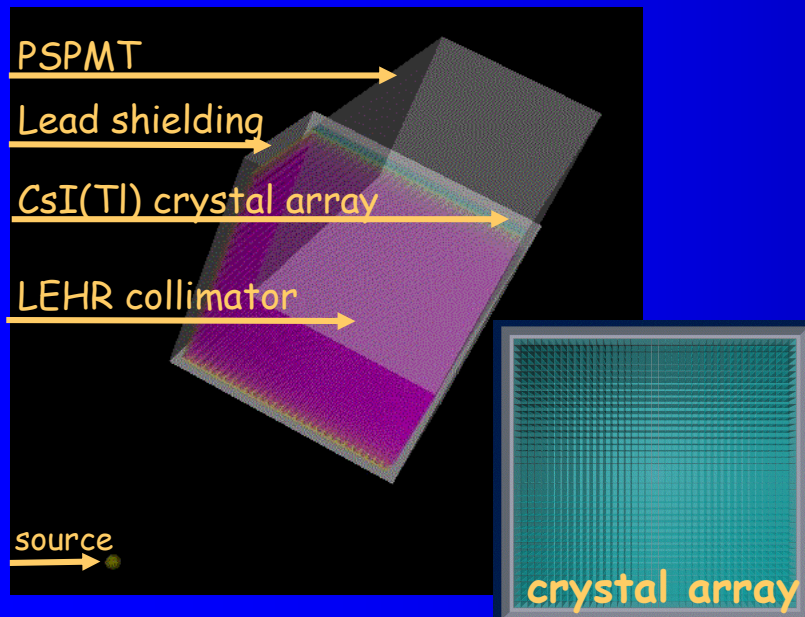




# Validation of GATE against experiment



- Simulation of a small animal imaging gamma camera
  - CsI(Tl) crystal array coupled to a PSPMT
  - Small animal imaging (study of new radiopharmaceuticals)



# Les enjeux du déploiement sur grille

- Simulation en imagerie nucléaire
  - Accélération des calculs
  - Partage de données simulées
- Simulation en radiothérapie
  - Idem
  - Etendre l'utilisation de codes Monte-Carlo pour le calcul de dépôt de doses, beaucoup plus précis que les codes analytiques

# Les différents niveaux de parallélisation

- le plus simple : chaque acquisition est envoyée sur un processeur différent
- moins simple : pour une acquisition donnée, diviser le nombre total d'évènements par le nombre de processeurs, envoyer en parallèle les jobs avec des générateurs random différents (GS) et concaténer le fichier de sortie
- plus complexe : lorsque l'on fait bouger le détecteur et/ou le fantôme, envoyer chaque run sur des processeurs différents
- encore plus complexe : paralléliser GEANT4, i.e traiter en parallèle plusieurs particules sur plusieurs processeurs

# Les différentes stratégies de déploiement sur une grille

- Mise en œuvre
  - Faut-il tout transporter entre les nœuds ?
    - Exécutable
    - Fichiers d'entrées
    - Fichiers de sortie
  - Vaut-il mieux pré-installer le code sur les noeuds ?
- Attention à
  - L'introduction de biais par la parallélisation
  - ...

# Sur quelles grilles mettre en œuvre le déploiement de GATE ?

- Banc-test de DataGrid
- Grille LOcale Pluridisciplinaire en Auvergne
- Ciment-GRID ?

# LE PROJET DataGRID

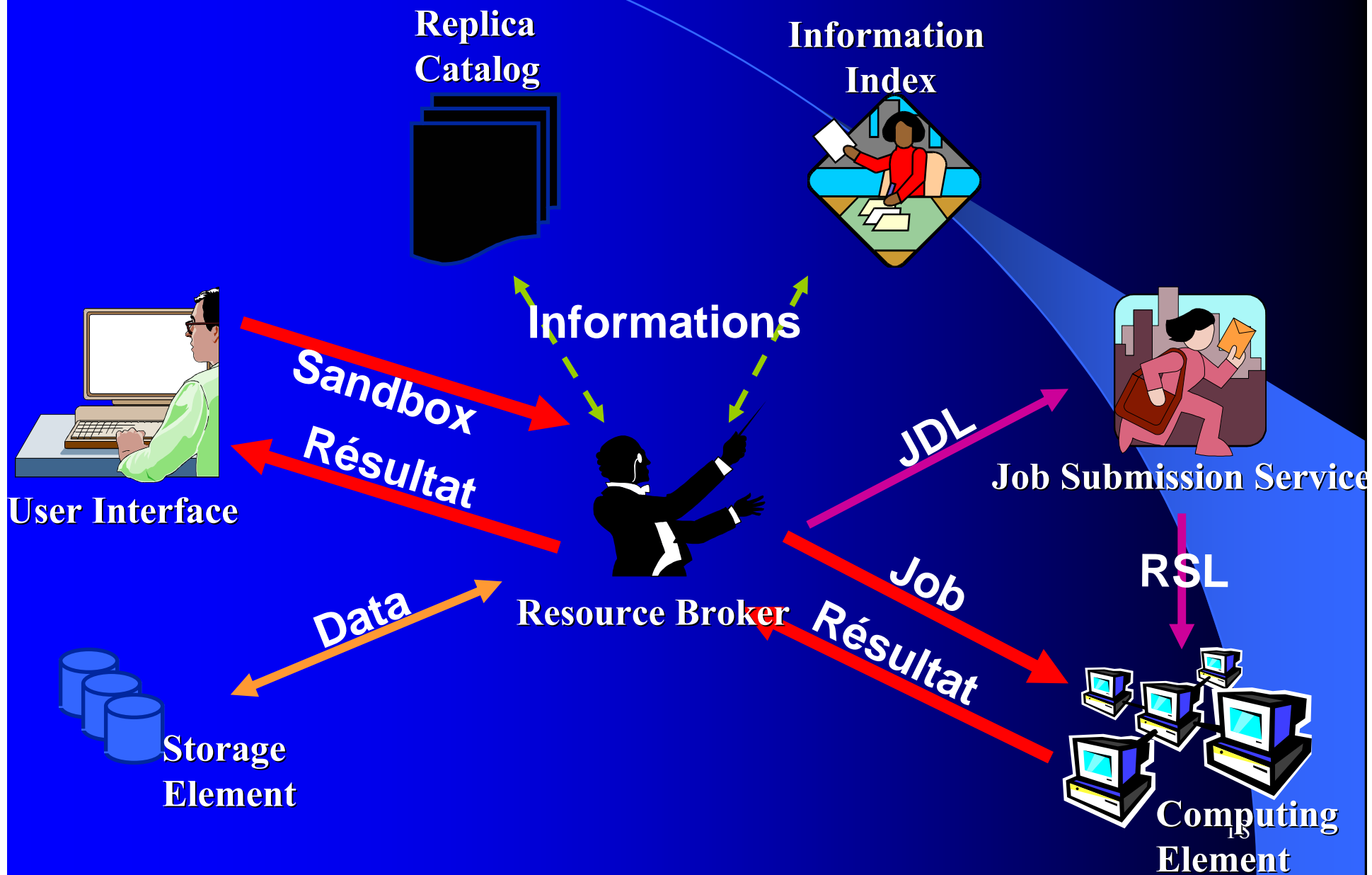
- **DataGRID est un projet Européen** destiné à la mise en œuvre d'une Grille à gros volume de calcul et de données pour la recherche scientifique (Physique des particules, Observation de la terre, Biologie)
- **CERN, CNRS-IN2P3, INFN, NIKHEF, PPARC, ESRIN**
- **9,8 millions Euros - durée : trois ans (2001-2004)**
- **Objectifs principaux**
  - développer un middleware basé sur l'outil GLOBUS
  - déployer des testbeds à grande échelle
  - valider le concept de grille sur différents démonstrateurs



# Groupe de travail biomédical (WP10)

- Spécification des besoins de l'imagerie médicale et de la génomique pour un environnement largement distribué
- Identifier des applications biomédicales pertinentes et les déployer sur le testbed de DataGRID
- Travail pluridisciplinaire:
  - développement de la grille et des outils d'analyse par des informaticiens et des physiciens
  - Déploiement des applications par des biologistes, des bio-informaticiens, des informaticiens,...

# EXECUTION D'UN JOB SUR LA GRILLE



# Status of WP10 applications

- Applications deployed
- Applications tested on EDG
- Applications under preparation

## ● Bio-informatics

- **Phylogenetics** : BBE Lyon (T. Sylvestre)
- **Search for primers** : Centrale Paris (K. Kurata)
- **Statistical genetics** : CNG Evry (N. Margetic)
- **Bio-informatics web portal** : IBCP (C. Blanchet)
- **Parasitology** : LBP Clermont, Univ B. Pascal (N. Jacq)
- **Data-mining on DNA chips** : Karolinska, LIMOS (R. Médina, R. Martinez)
- **Geometrical protein comparison** : Univ. Padova (C. Ferrari)

## ● Medical imaging

- **MR image simulation** : CREATIS (H. Benoit-Cattin)
- **Medical data and metadata management** : CREATIS (J. Montagnat)
- **Mammographies analysis ERIC/Lyon 2** (S. Miguët, T. Tweed)
- **Simulation platform for PET/SPECT based on Geant4** : GATE<sub>19</sub> collaboration (L. Maigne)

# GLOP

Déploiement d'une grille locale  
de fermes de PC's

- Acquisition de compétences technologiques
- Mise en oeuvre d'applications scientifiques



**LARAMA/LERMES (mécanique)**  
**LIMOS (informatique)**  
**LLAIC1 (Bio-informatique / imagerie médicale)**  
**LPC (Physique Corpusculaire)**  
**Pôle Modélisation (pluridisciplinaire)**  
**CEMAGREF**

Carte du réseau  
Vraiment Très Haut  
Débit

# Calendriers...

- DataGrid (2001-2004)
  - Version 2 du middleware, nouvelles fonctionnalités
- GLOP (2003-2006)
  - Début 2003 : noeuds de grille à l'IUT (LLAIC1), l'ISIMA(Pôle Modélisation) et au LPC
  - Extension de la grille corrélée à l'évolution de la technologie
- Calendrier du déploiement de GATE
  - Installation de GATE sur des nœuds GLOP et DataGrid (Jan 2003)
  - Validation d'une application en curiethérapie (Feb-Mar 2003)
  - Déploiement sur grille (Avril-Sept 2003)
    - GLOP
    - DataGrid
    - Ciment ?