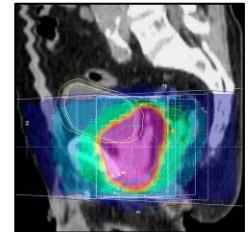
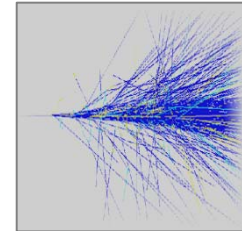




L'utilisation de la méthode de Monte Carlo pour la planification du traitement du cancer par radiothérapie devient une réalité

H Kafrouni, F Husson, S Morrow, E Franchisseur et M Benkebil

Dosisoft Cachan

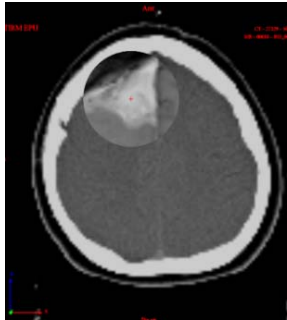
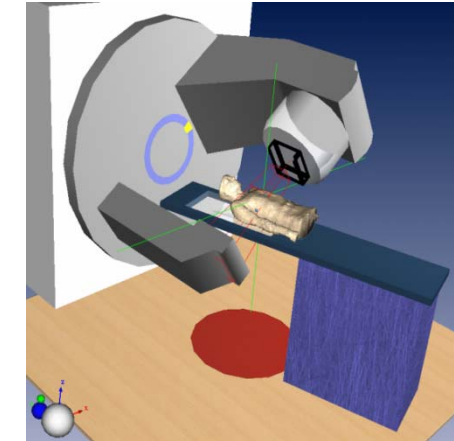
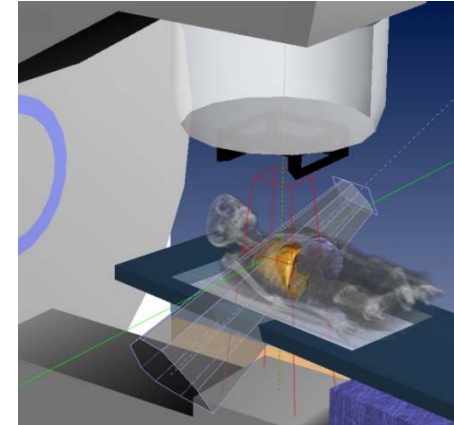


ISOgray

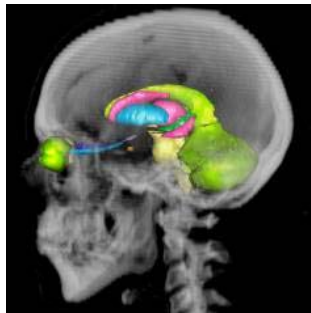
Système de P lanification de T raitement

Volume de la tumeur et géométrie des faisceaux

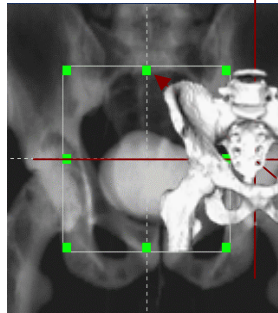
Utilisation d'Atlas anatomique pour gain de temps



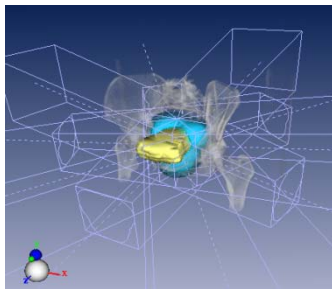
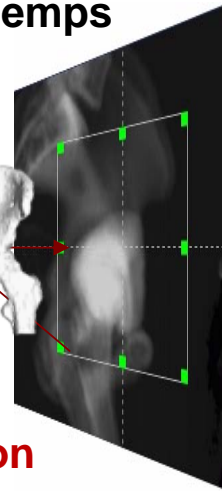
Tumeur



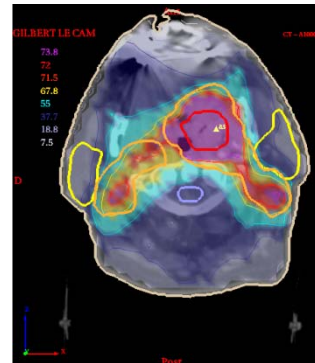
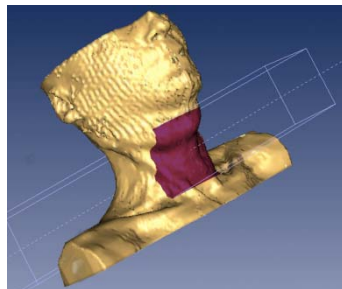
Organes A
Risque



Reconstruction

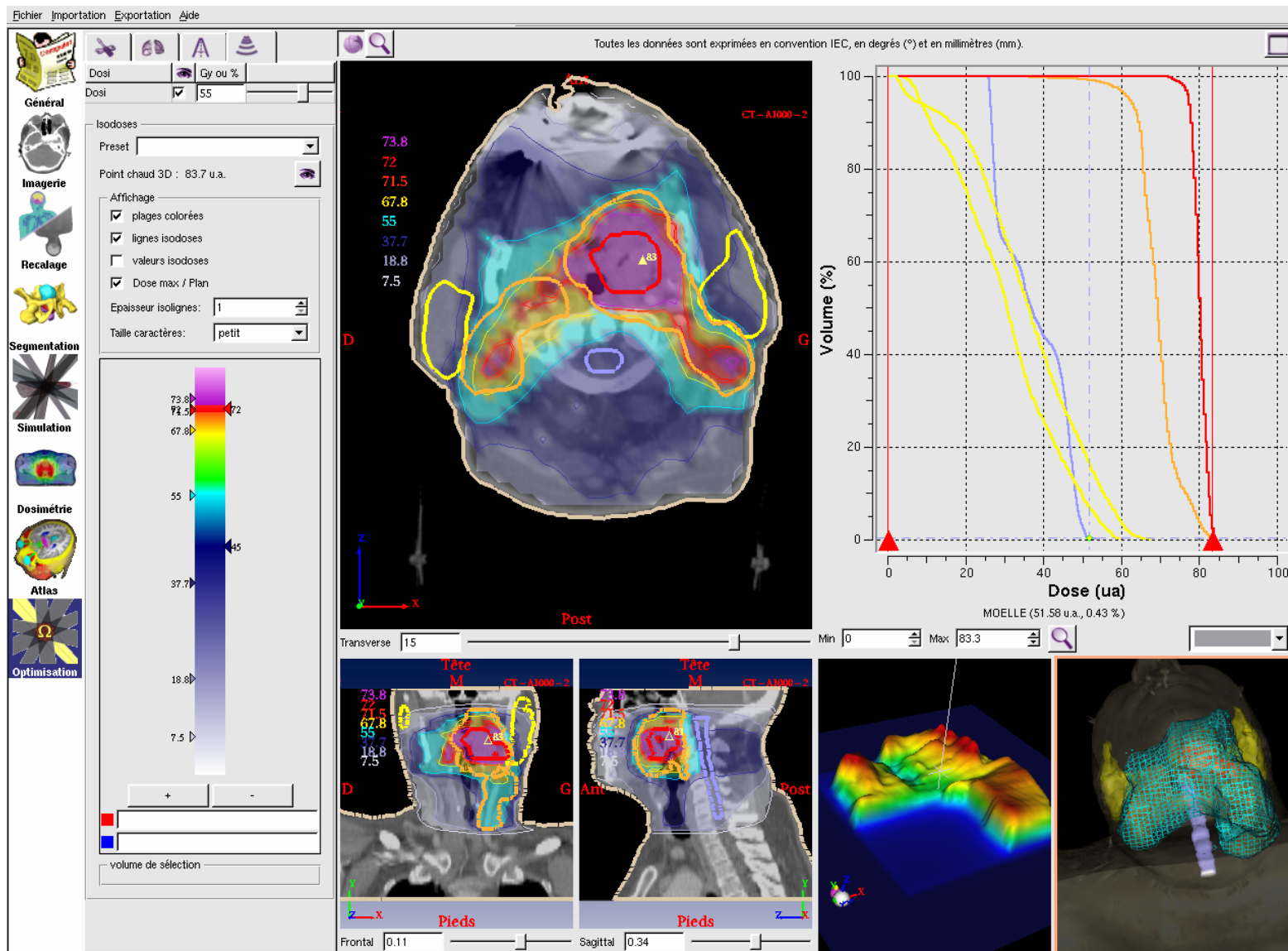


Simulation du traitement



La dose

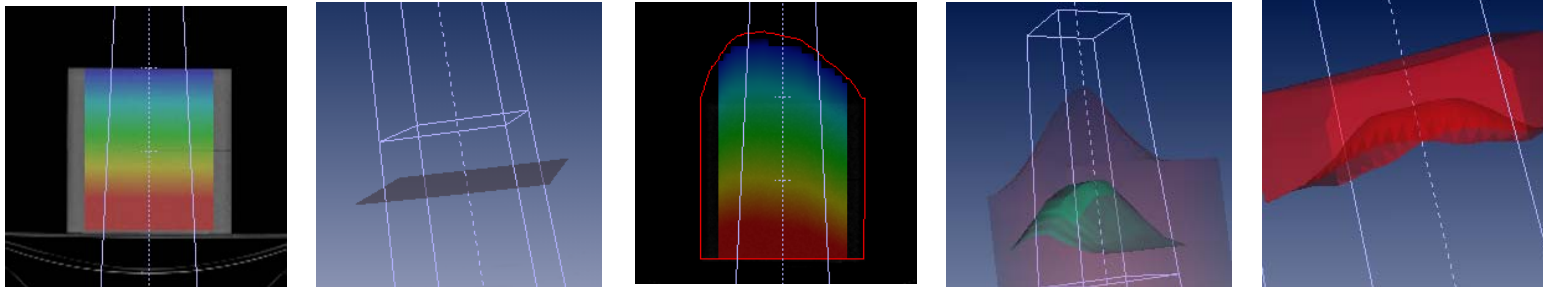
Les critères de la Radiothérapie: Dose et Volume



Modèles de calcul de la Dose

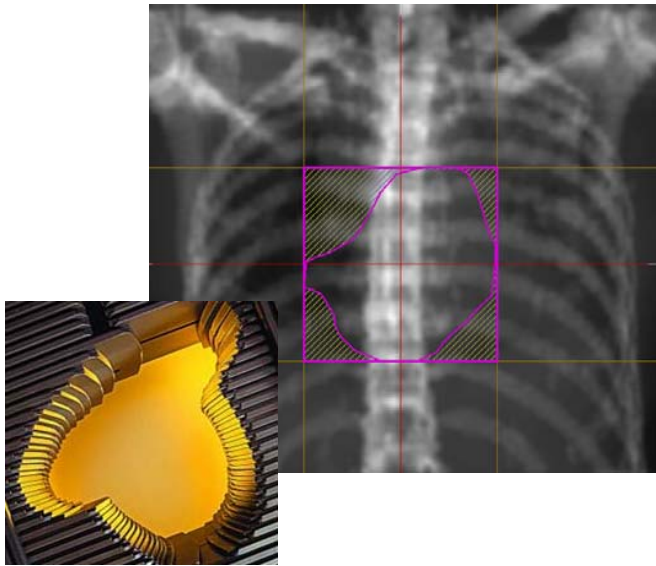


- Modèle de Pencil Beam
- Modèle de séparation primaire diffusé: Clarkson-Cunningham
- Modèle de superposition/convolution point-kernel
- Code de Monte-Carlo





Corrections empiriques: *insuffisances et approximations*



Formes complexes



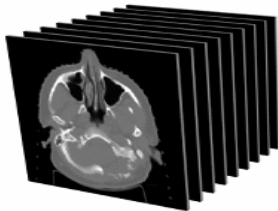
Compositions complexes

Méthode de Monte Carlo

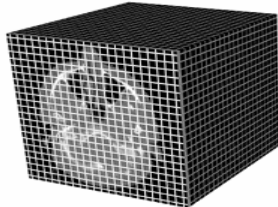
- **Prise en compte complet de toute la physique du transport des particules**
- **Précision parfaite pour la dosimétrie**
- **Utile pour les cas critiques :**
 - Hétérogénéités complexes
 - Collimation complexe et dynamique
 - Quand les vérifications par les mesures sont impossibles

PENELOPE

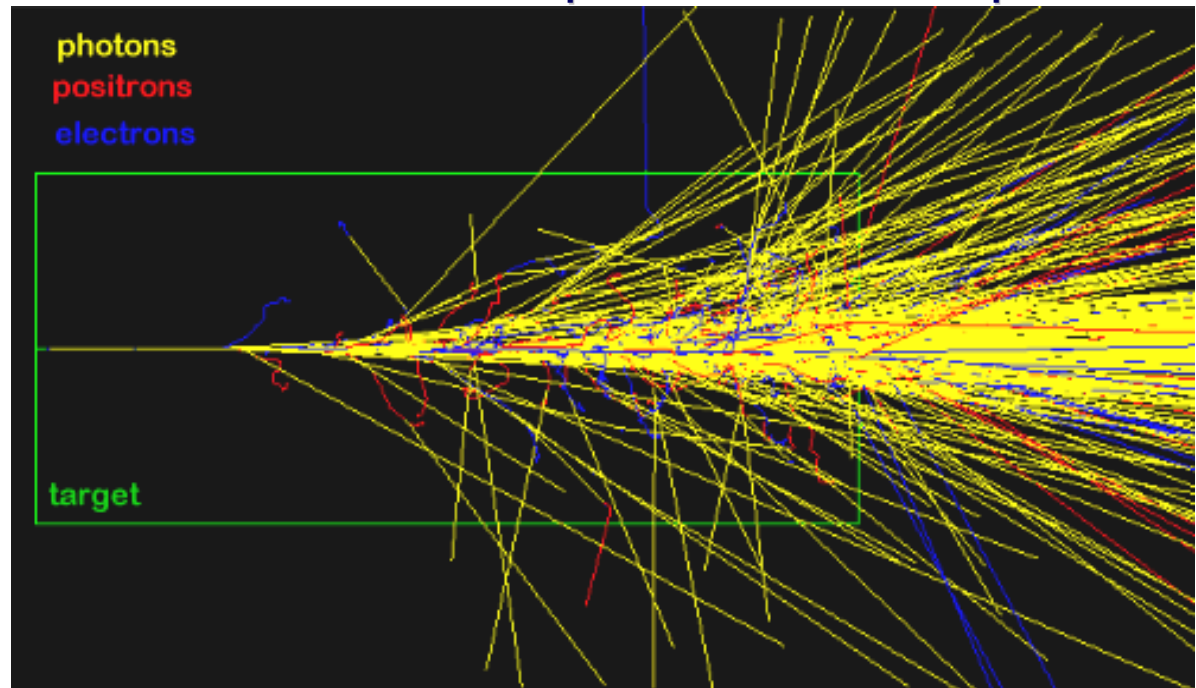
Francesc SALVAT
(Université de Barcelone)



*Patient représenté par
coupes CT*



Volume du patient voxelisé



2004 - 2009



SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME
INTEGRATED PROJECT

MAESTRO

Combating Cancer

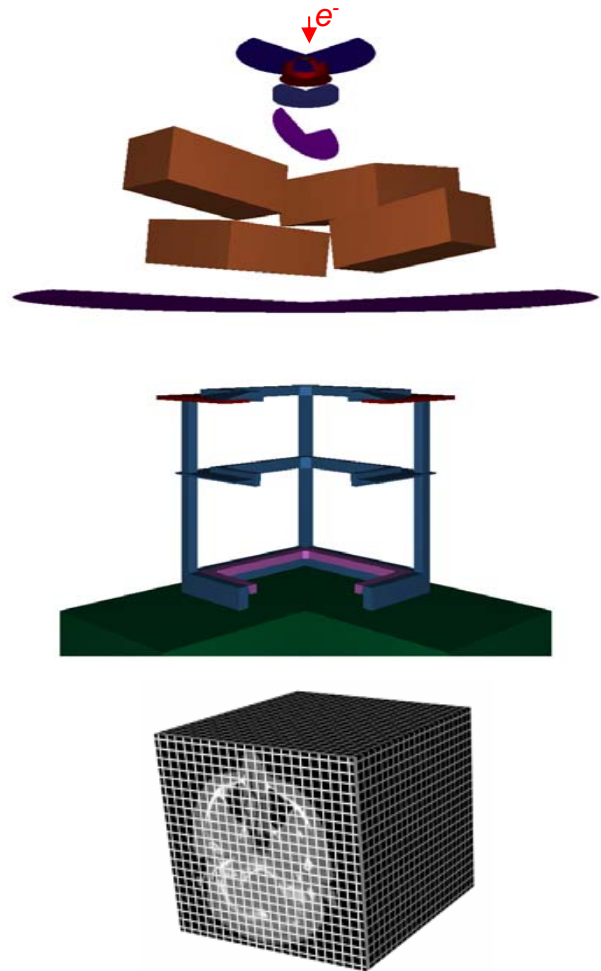


Temps moyen de calcul pour la simulation de 1 faisceau photons 10^8 particules

Simulation complète	1 X 3 Ghz	semaines
---------------------	-----------	----------



SPT Isogray Monte Carlo : principe de calcul de la dose



- **Tête de l'accélérateur**

PSF1: les éléments fixes de la tête

- **Modificateurs du faisceau**

- e- : mâchoires, applicateurs
- h_v : MLC, mâchoires, blocks

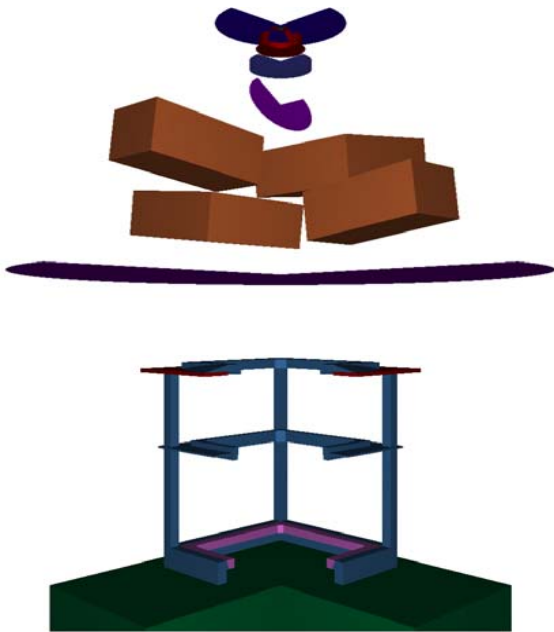
PSF2: accessoires

- **Simulation dans patient**

- e- : entrée-sortie
- Voxelisation du volume CT

Calcul du dépôt de la dose

SPT Isogray Monte Carlo : modélisation du faisceau



PSF1 & PSF2 pour le faisceau électrons :

- ~100 M particules
- PSF: energie, position, direction
- 1 file / energy / applicateur
- 1 calibration file (Gy \equiv MU) Cond. Ref
- Calcul proposé par Support Dosisoft

Simulation basée sur les données du constructeur de l'accélérateur (matériaux, géométrie)

Commissioning (e- beams):

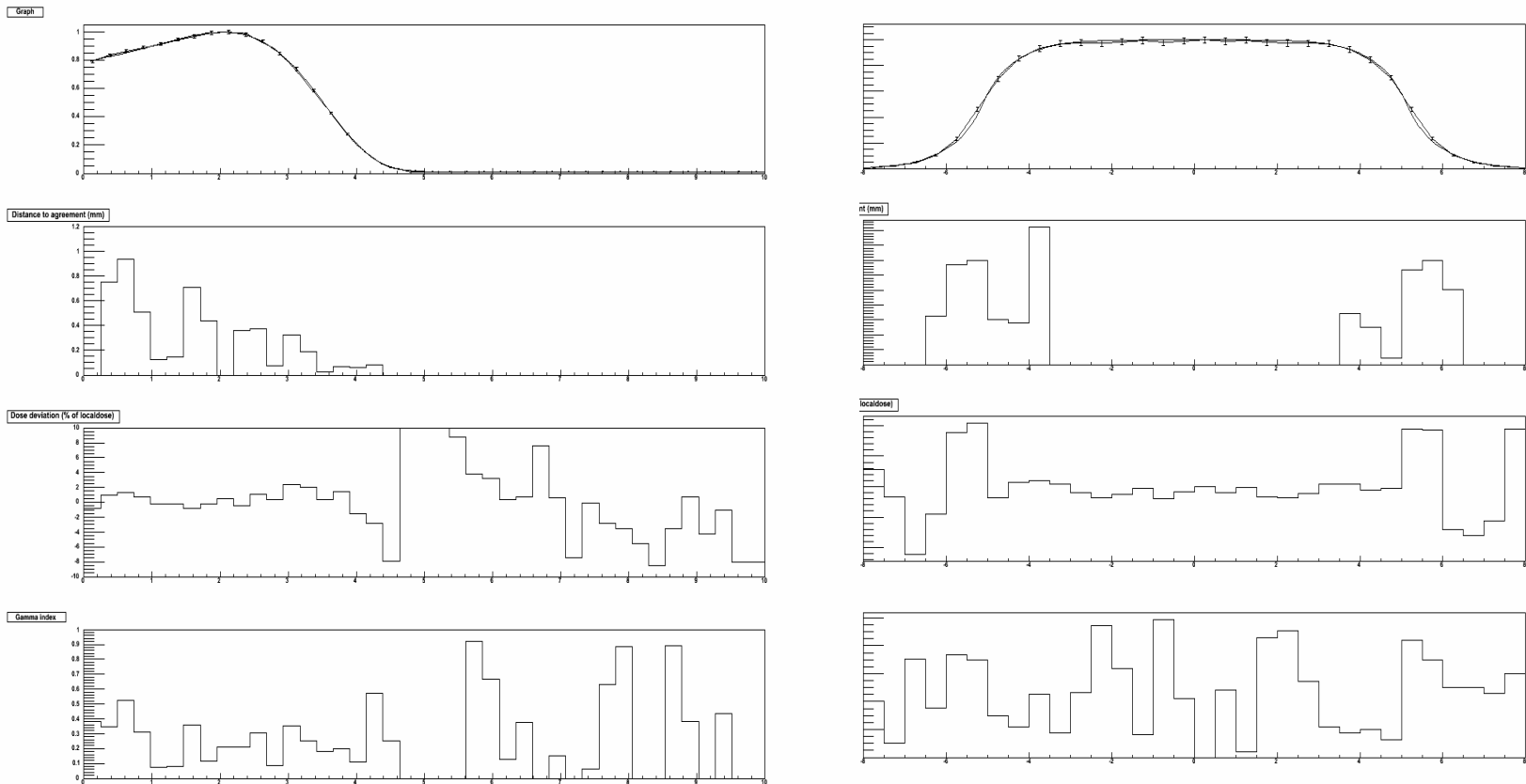
contrôle des paramètres (énergie incidente, tâche focale) intervenant dans la simulation de la tête

- "Tuning process" permettant de satisfaire les mesures de l'utilisateur



SPT Isogray Monte Carlo : modélisation du faisceau

Ajustement du modèle générique aux caractéristiques spécifiques de la machine



... dose deviation de dose et tolerances γ -index

- > Qualité des MESURES (choix du détecteur)!
- > Contrôle qualité de l'accélérateur (suivi après les tests de l'acceptance)

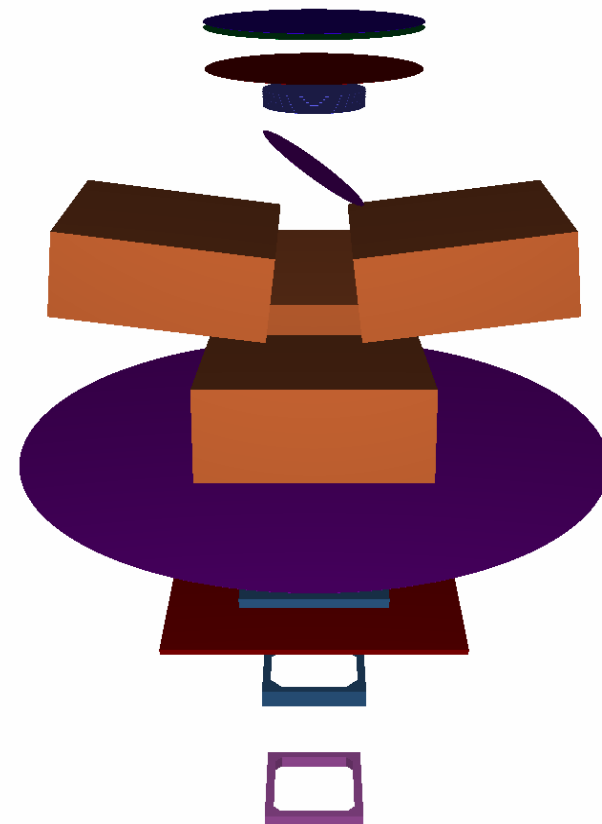
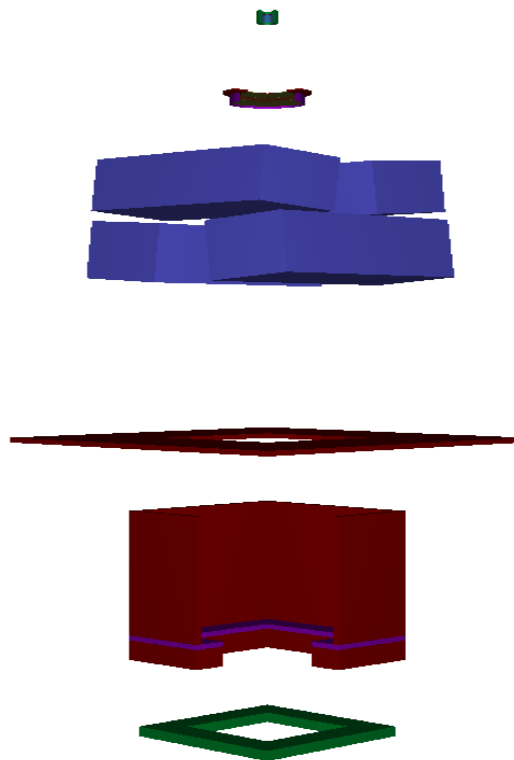
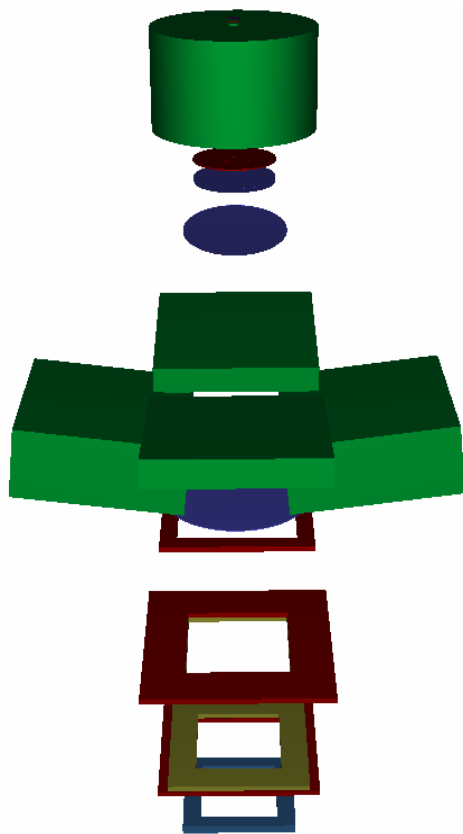


Isogray Monte Carlo TPS: beam modeling

Elekta Oncology Systems
SL series, electron mode, 6MeV

Siemens
Primus

Varian Oncology Systems
2300 C/D Silhouette Millennium
electron mode Type III
6MeV (head 65.4, MLC)

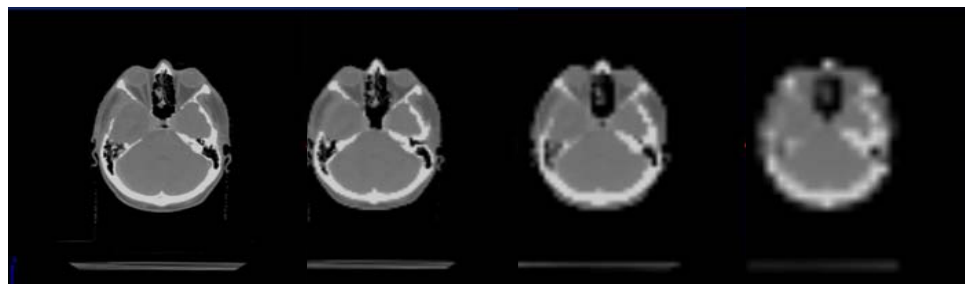


Pre-processed source library based on manufacturer information

SPT Isogray Monte Carlo : modèle anatomique du patient



Taille du voxel → *Matrice de calcul*



- For smaller voxel sizes (higher resolution):
 - more simulated showers required (for equivalent precision)
 - more surfaces and interfaces (exit of each voxel is a new medium)
 - **more CPU time is required for equivalent precision**



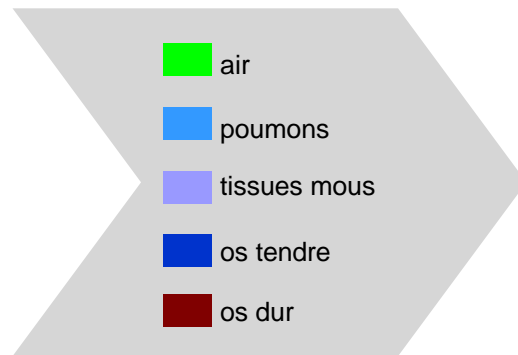
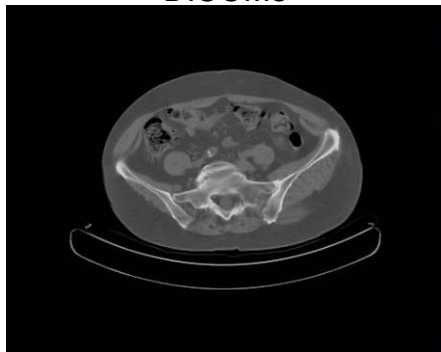
SPT Isogray Monte Carlo : model anatomique du patient

Conversion, à partir des nombres
Hounsfield, les coupes CT en
matériaux

Matériaux
*Composition atomique
et sections efficaces
pour le code PENELOPE*

Densité massique
déduite des coupes CT

DICOM3



ISOGRAY





SPT Isogray Monte Carlo : modèle anatomique du patient

Visualisation des calculs intermédiaires

Modèle dosimétrique **Incertitude**

Matrice : densité massique

Transparence 0% 100%

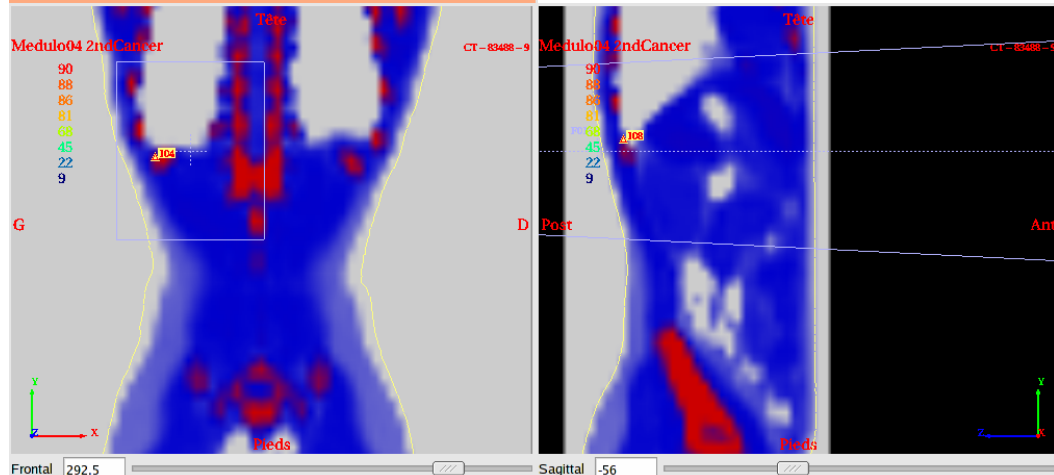
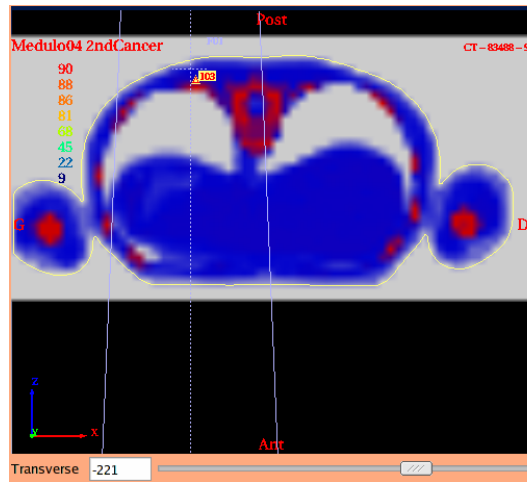
Couleurs de densité

densité maximum 1.3

densité centrale 1

densité minimum 0.7

Matrice de densité massique





SPT Isogray Monte Carlo : modèle anatomique du patient

Visualisation des calculs intermédiaires

Modèle dosimétrique Incertitude

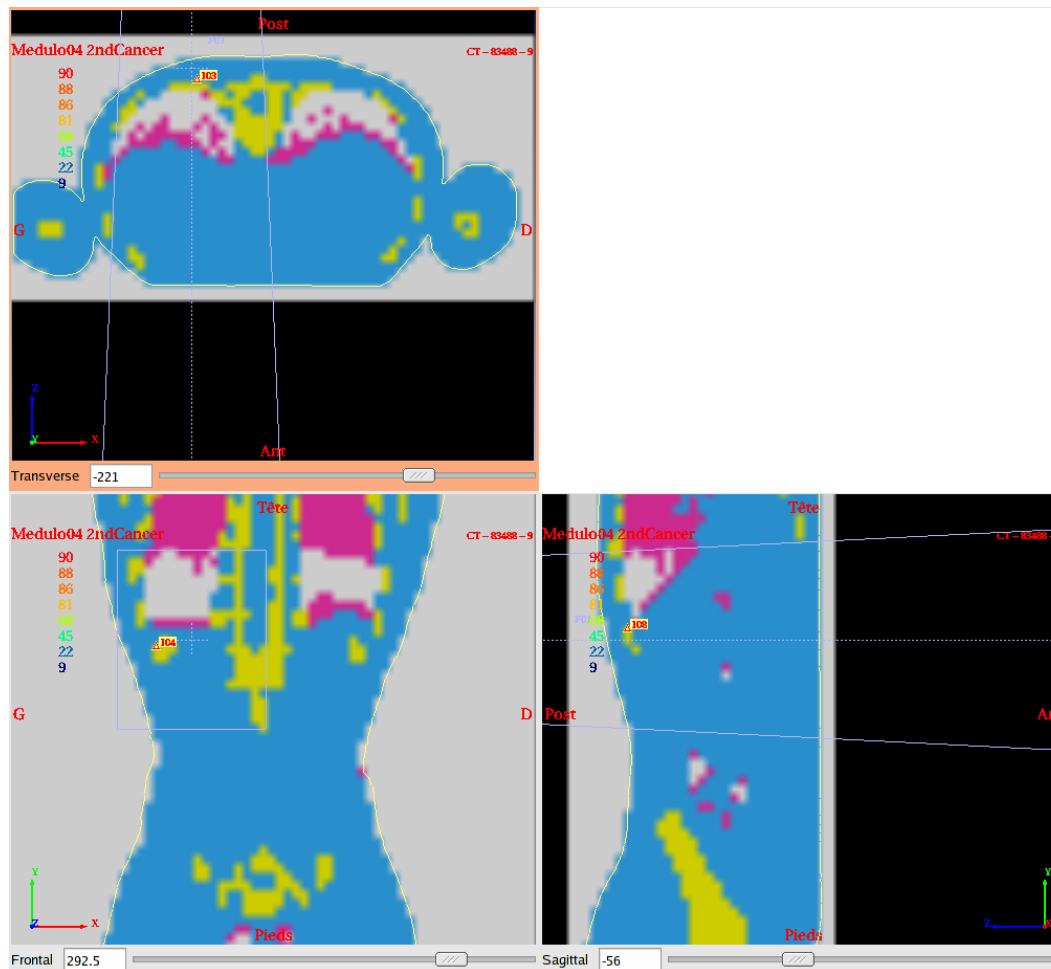
Matrice : matériaux

Transparence 0% 100%

Couleurs des matériaux

	Matériau	Couleur
1	eau liquide	bleu
2	air sec	blanc
3	os compact	jaune
4	poumon	rose
5	titane	vert
6	plomb	rouge

Matrice des matériaux





SPT Isogray Monte Carlo : paramètres de calcul

Erreur relative $\propto (\text{dose})^{-0.5}$
 $\propto (\text{temps})^{-0.5}$

temps de calcul

Modèle de calcul

Electrons

Modèle Monte Carlo

Temps max. (mn) 60

Nb hist 1e+09 split 1

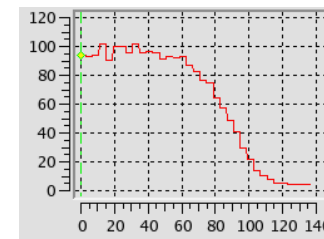
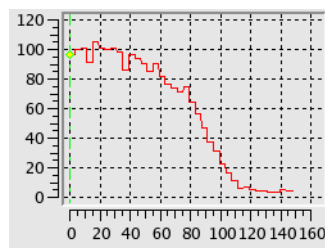
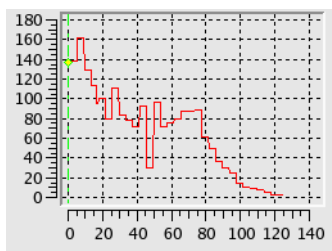
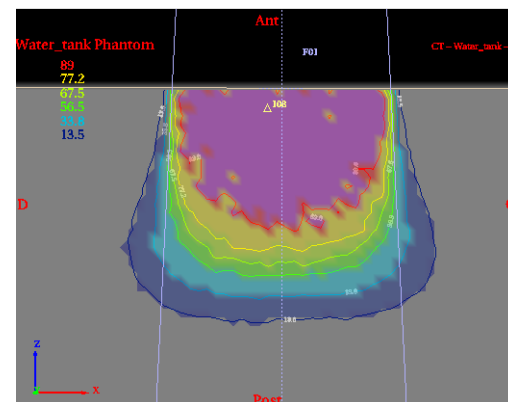
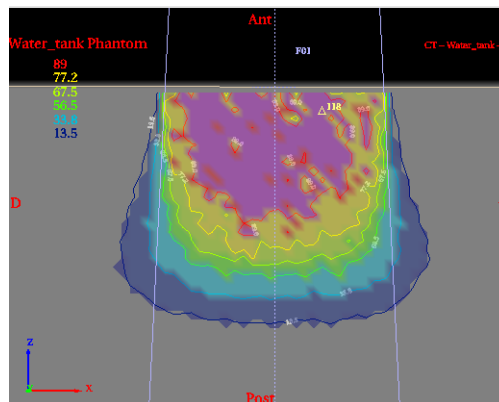
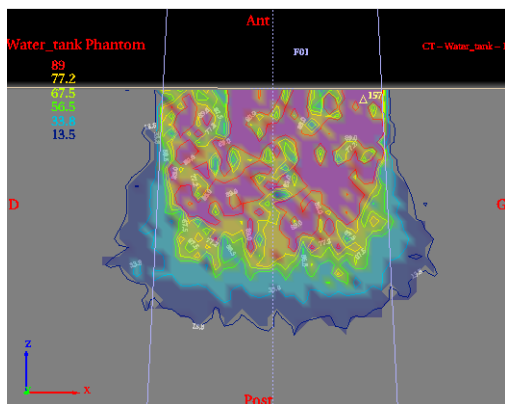
calcul

PenFast PenCT

matrice

dose densité matériau

← Critères d'arrêt ...



temps

court

moyen

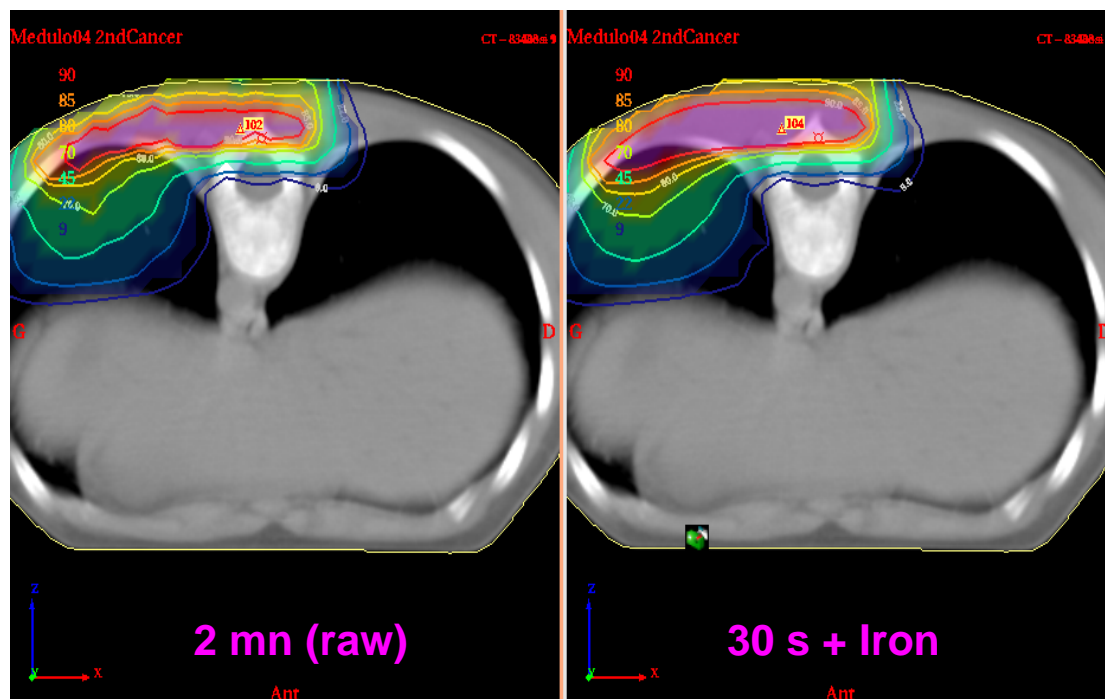
long



SPT Isogray Monte Carlo : paramètres de calcul

Denoising, smoothing

- Adaptive Anisotropic Filtering
- Iterative Reduction Of Noise (Iron)



Denoising methods require proper validation under the full range of clinical circumstances



SPT Isogray Monte Carlo : distributions de la dose





SPT Isogray Monte Carlo : distribution de la dose

DOSIsoft Isogray - version 4.0 (mode autonome) : Dosimétrie Patient: Medulo04 2ndCancer ID: Etude: testMc

Fichier Importation Exportation Aide

Toutes les données sont exprimées en convention IEC, en degrés (°) et en millimètres (mm).

Plan de traitement
Phase de traitement 1
- Dosi 2.2 : Balistique 1
- Dosi 3 : Balistique 1
- Dosi 4 : Balistique 1
- Dosi 5 : Balistique 1
- Dosi 6 : Balistique 2
Phase de traitement 2
- Dosi 1 : Balistique 3

Sélection: Dosi 1 : Balistique 3

Visualisation des matrices de fluence
Faisceau : aucun
Choix de visualisation :
Vue de profil Vue de dessus

Visualisation des calculs intermédiaires
Modèle dosimétrique Incertitude
Matrice : densité massique
Transparence 0% 100%
Couleurs de densité
densité maximum 1.3
densité centrale 1
densité minimum 0.7

Valeur en un point
pipette
Valeur
Unité hounsfield

Superposition de la dose sur les densités

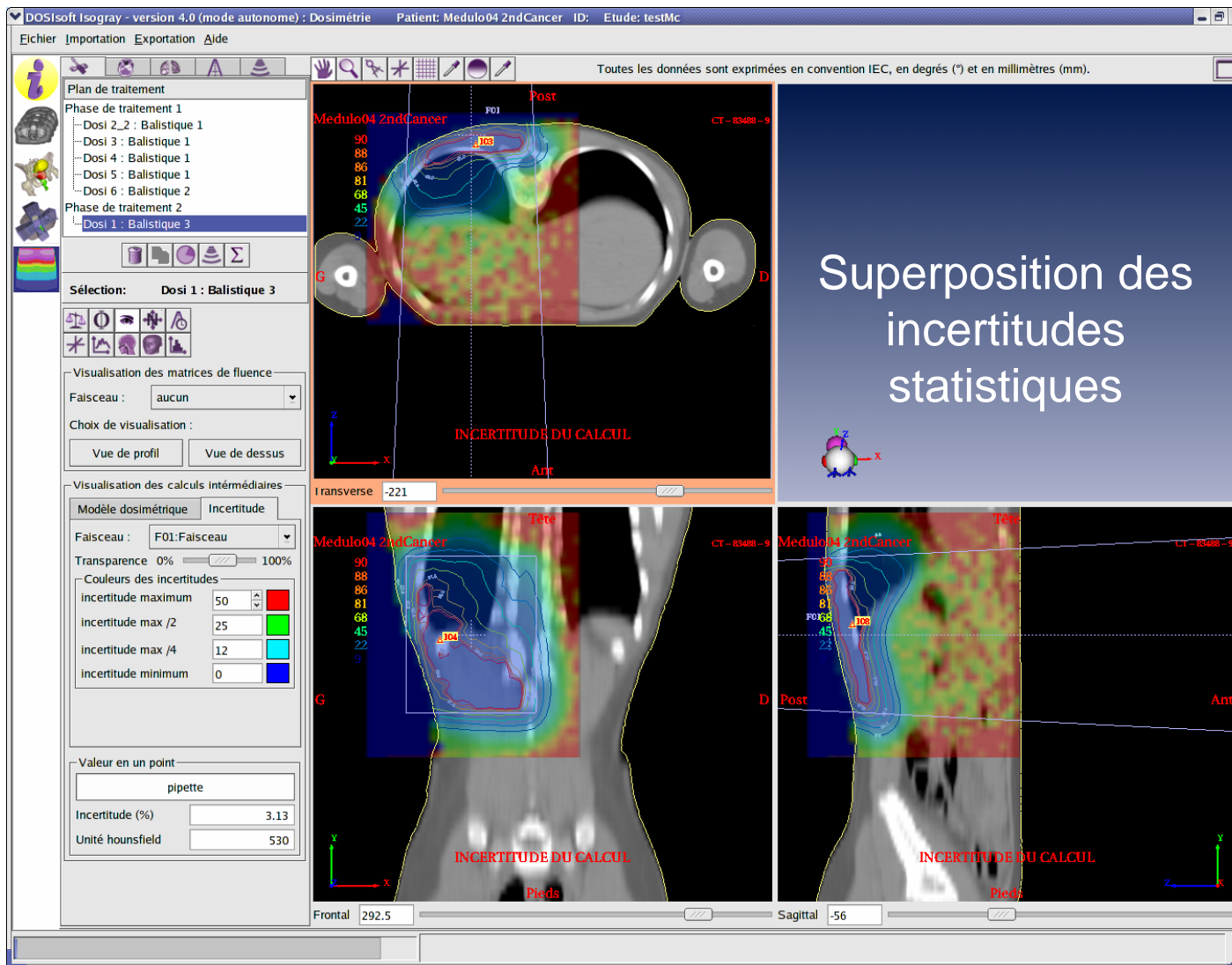
Transverse -221

Frontal 292.5

Sagittal -56

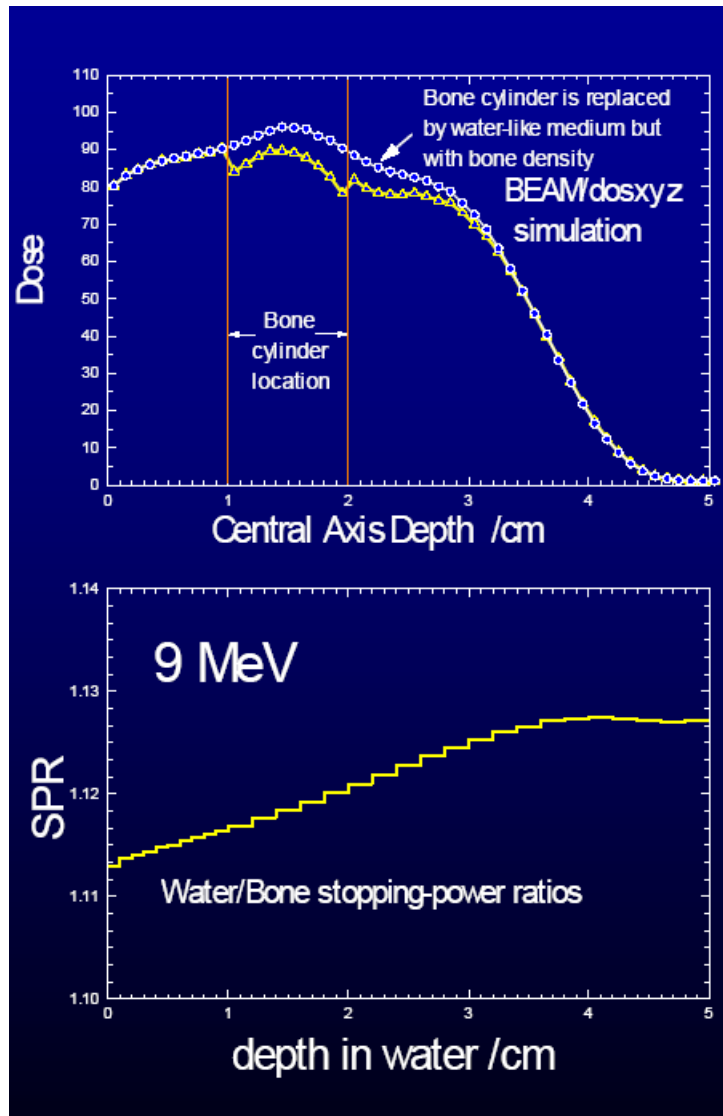


SPT Isogray Monte Carlo : distribution de la dose





SPT Isogray Monte Carlo : dose prescription and reporting



- MC TPS inherently calculates dose-to-tissue (CT → material calibration curve)

≠ conventional TPS → dose-to-water

Discrepancies in relation to the values of the Water/Medium stopping-power ratios
(~ 4% lung, ~ 12% bone)

≠ detector calibration

- Dose reporting : must be consistent with the dose calculation

(prescription dose, treatment outcomes comparison)

$$D_w = D_m \left(\frac{S}{\rho} \right)_m^w$$



SPT Isogray Monte Carlo : calcul du nombre d'unités moniteur UM

- PSF calibration ($\text{Gy} \equiv \text{MU}$) by performing a simulation in the standard geometry where the linac is set to deliver a given dose per monitor unit:

~ based on the mean energy released per e- in the monitor chamber

- Relative Output Factors (e-beams):

dose rate vs beam shaping



Elekta SL Series, e- 8 MeV, SSD 100cm, applicator 10cm x 10cm (95cm), d_{max} :

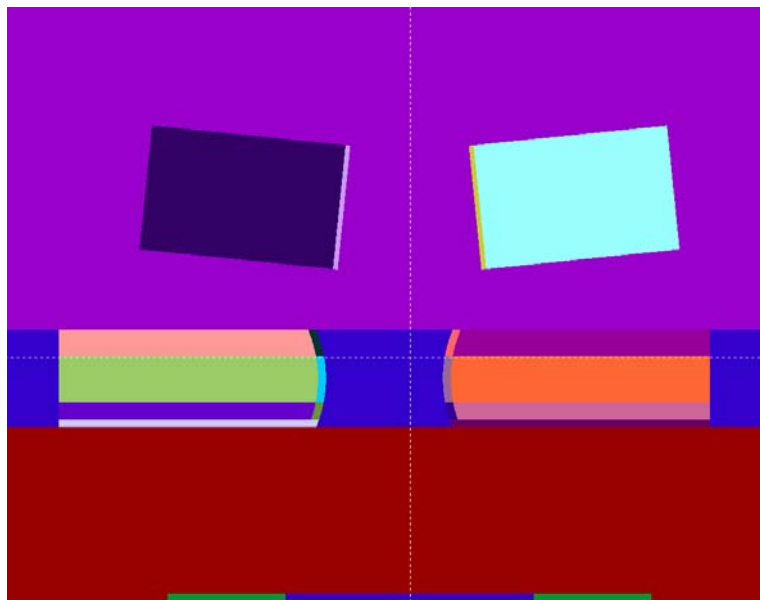
Cut-out aperture (cmxcm)	10 x 10	8 x 8	7.4 x 6.3	7 x 6	7 x 4
Computed value	1.000	0.987	0.980	0.971	0.944
Measurements	1.000	0.990	0.984	0.972	0.940

Experimental data : courtesy of CHU Tours-France

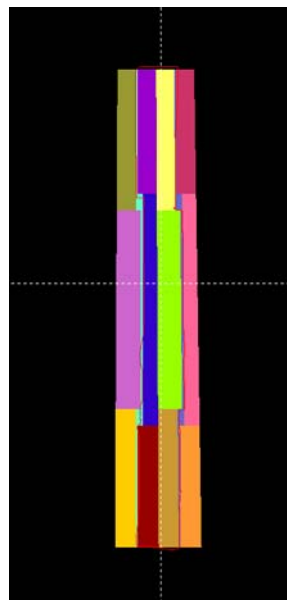


SPT Isogray Monte Carlo : faisceaux de photons

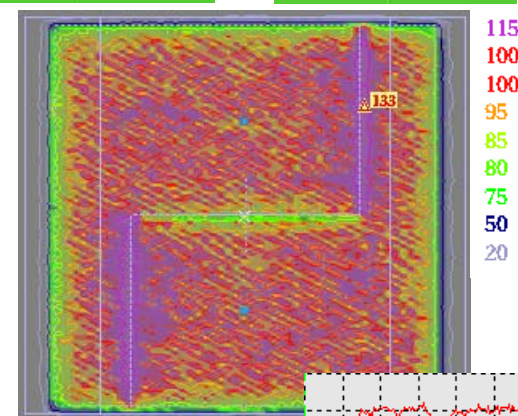
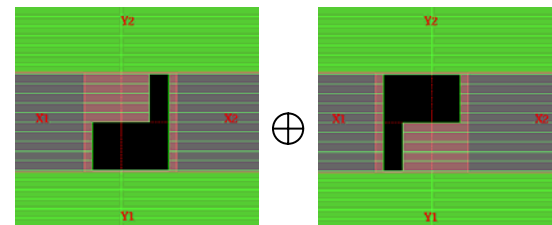
Simulation de la géométrie du MLC



Varian Clinac MLC 52 leaves



“Tongue & groove”
arrangement



Isogray simulation:
“Tongue & groove”
underdosage

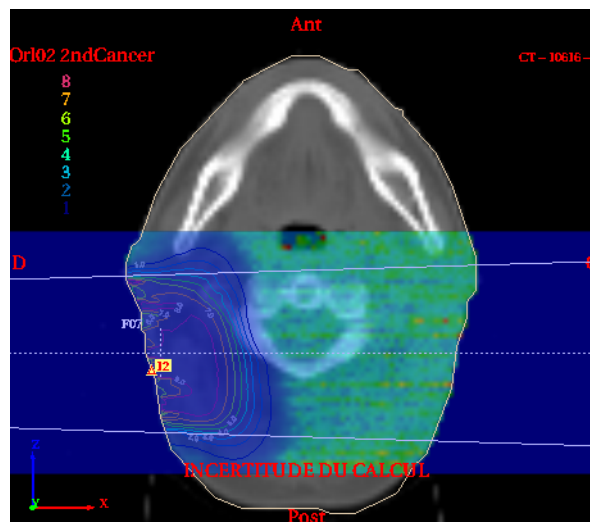
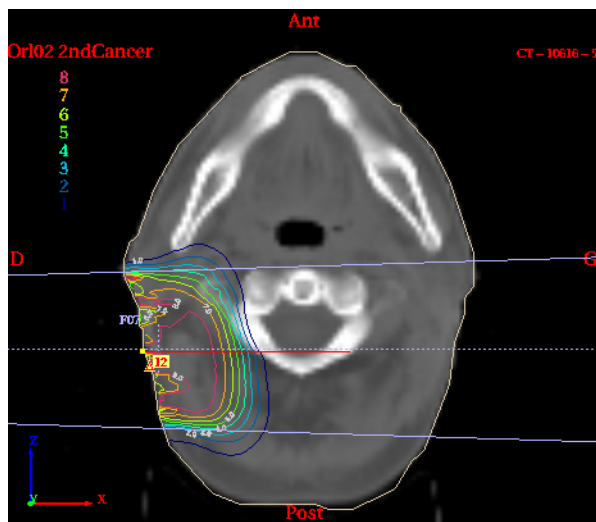


- complex beam shape defined by standard graphic editor
- selective particle tracking according to the interaction point position: “body” – “skin”

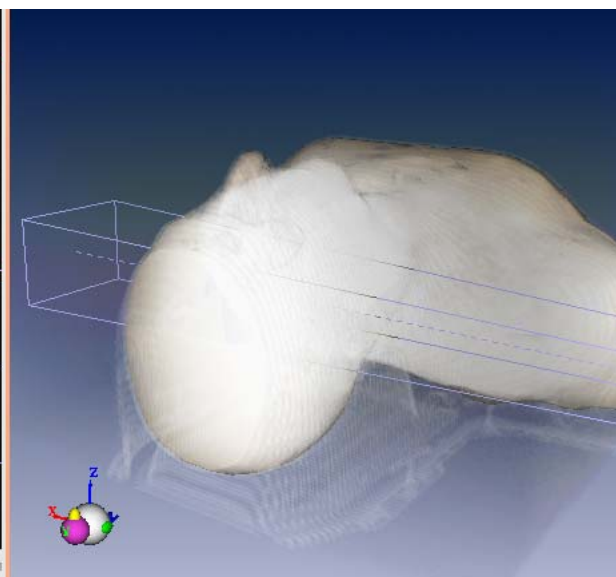
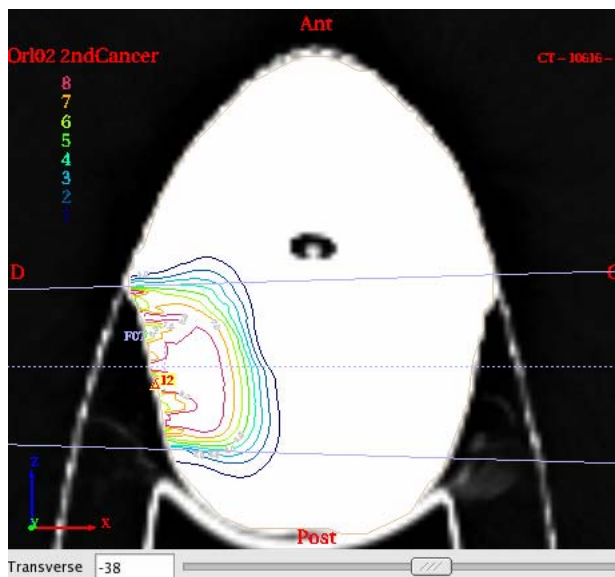


Isogray Monte Carlo TPS: exemples

Cas de tête et cou



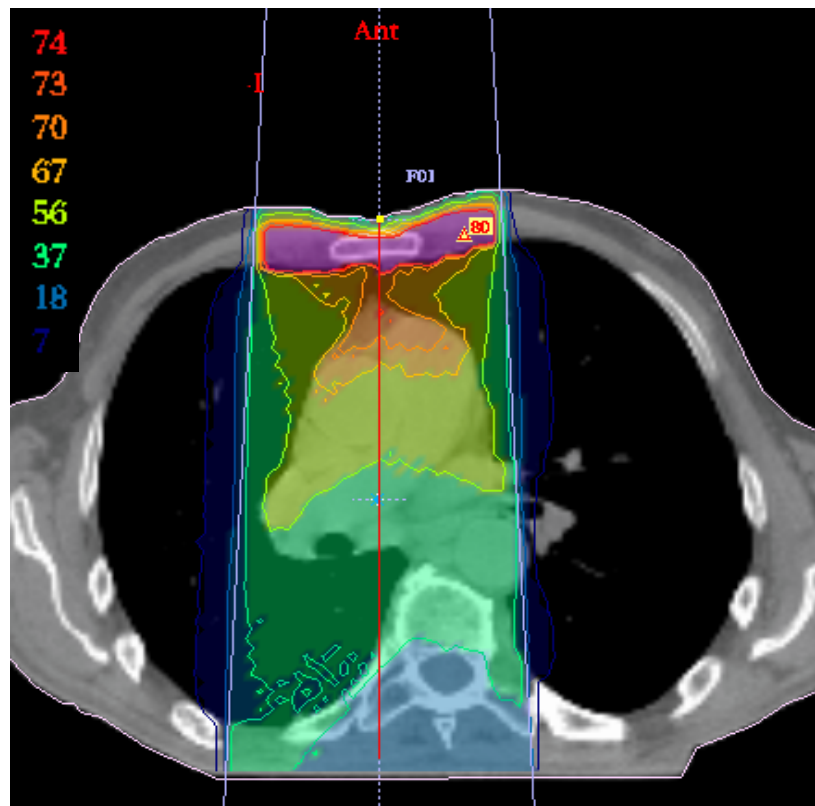
Influence du système d'immobilisation





SPT Isogray Monte Carlo : faisceaux de photons

Cas du thorax



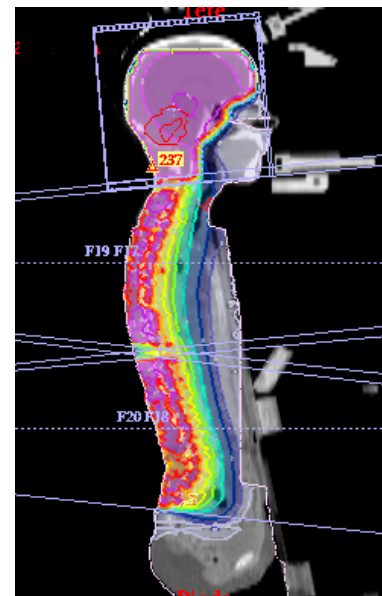
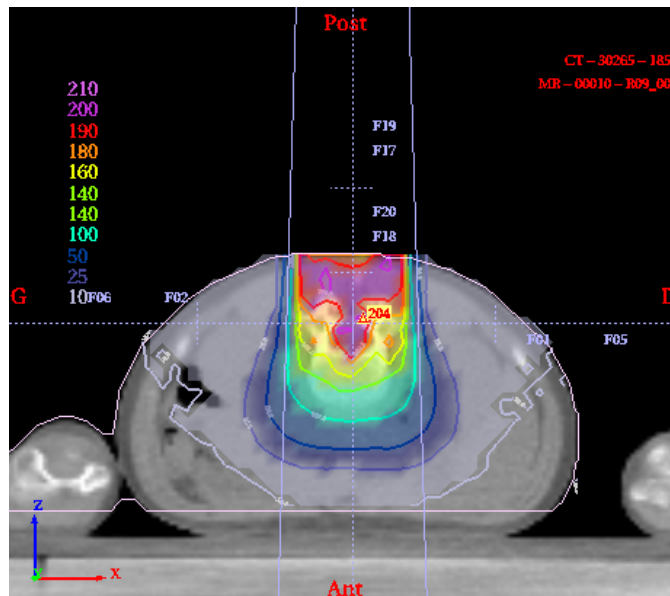
MC simulation

voxel : 3 mm x 3 mm x 3.4 mm



SPT Isogray Monte Carlo : faisceaux d'électrons

Cas de médulloblastome



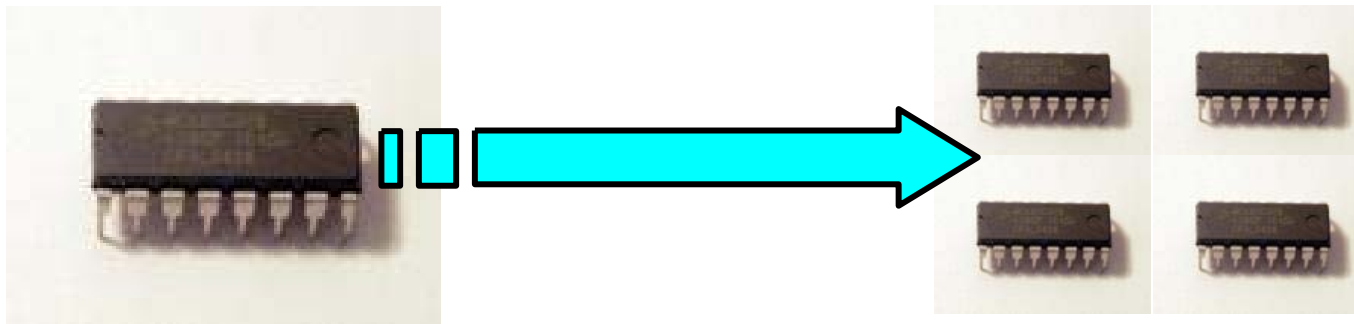


Temps moyen de calcul pour la simulation de 1 faisceau photons 10^8 particules

Simulation complète	1 X 3 Ghz	semaines
avec PSF et PenCt	1 X 3 Ghz	jours
avec PSF et PenFast	1 X 3 Ghz	heures



SPT Isogray Monte Carlo : utilisation des PC multi coeurs



```
Terminal - Konsole
Session Edition Affichage Signets Configuration Aide

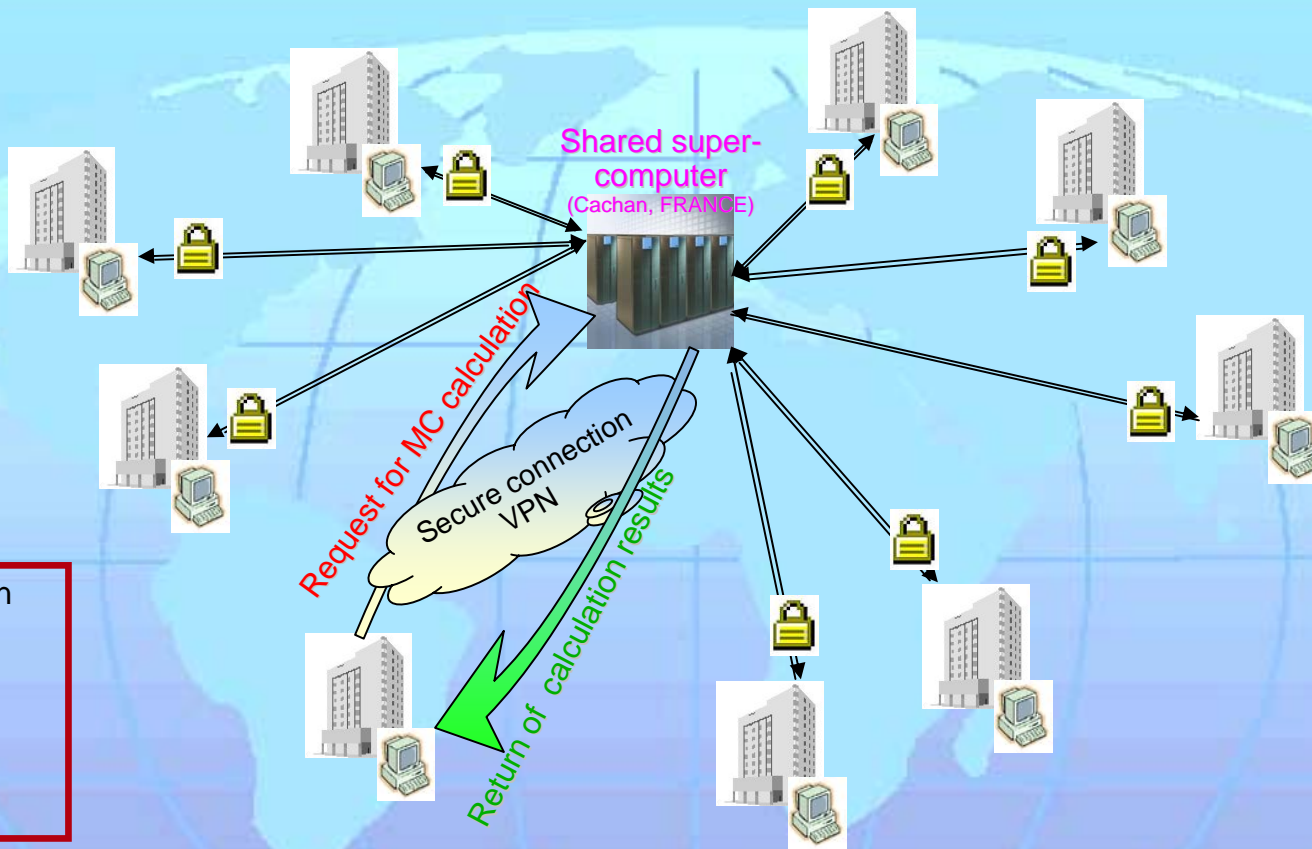
8 processeurs //

12:09:33 up 3 days, 2:40, 10 users, load average: 1,94, 1,14, 1,25
166 processes: 157 sleeping, 9 running, 0 zombie, 0 stopped
CPU states:  cpu  user  nice  system  irq  softirq  iowait  idle
              total 98,6%  0,0%  1,2%  0,0%  0,0%  0,0%  0,0%
              cpu00 99,2%  0,0%  0,5%  0,1%  0,0%  0,0%  0,0%
              cpu01 95,6%  0,0%  4,3%  0,0%  0,0%  0,0%  0,0%
              cpu02 99,2%  0,0%  0,7%  0,0%  0,0%  0,0%  0,0%
              cpu03 99,2%  0,0%  0,5%  0,1%  0,0%  0,0%  0,0%
              cpu04 98,4%  0,0%  1,5%  0,0%  0,0%  0,0%  0,0%
              cpu05 99,4%  0,0%  0,5%  0,0%  0,0%  0,0%  0,0%
              cpu06 98,8%  0,0%  0,7%  0,1%  0,1%  0,0%  0,0%
              cpu07 99,0%  0,0%  0,7%  0,0%  0,1%  0,0%  0,0%
Mem:  8193932k av, 5444092k used, 2749840k free,      0k shrd, 119768k buff
      4188520k actv, 620676k in_d,      7168k in_c
Swap: 4192956k av,      888k used, 4192068k free      3884184k cached

  PID USER  PRI  NI  SIZE  RSS  SHARE  STAT  %CPU  %MEM  TIME  CPU  COMMAND
 23071 isogray 25   0 27188 26M 1332 R   12,5  0,3  0:08  5  ig_penct_fork
 23069 isogray 25   0 27188 26M 1332 R   12,4  0,3  0:08  6  ig_penct_fork
 23072 isogray 25   0 27188 26M 1332 R   12,4  0,3  0:08  7  ig_penct_fork
 23073 isogray 25   0 27188 26M 1332 R   12,4  0,3  0:08  2  ig_penct_fork
 23074 isogray 25   0 27188 26M 1332 R   12,4  0,3  0:08  3  ig_penct_fork
 23075 isogray 25   0 27188 26M 1332 R   12,4  0,3  0:08  0  ig_penct_fork
 23070 isogray 25   0 27188 26M 1332 R   12,3  0,3  0:08  4  ig_penct_fork
```

2006 TELEDOS

Réseau National Technologies pour la Santé



- Administration
- Supervision
- Surveillance
- Exploitation
- Utilisation

DOSI soft

BULL

CAL Nice
Centre Antoine-Lacassagne
Le Coeur et la Science

CENTRE ALEXIS VAUTRIN

cea list

institut Curie
Ensemble, prenons le cancer de vitesse.

IGR

Calcul rapide, à distance, de la dose par la méthode de Monte Carlo



Description schématique

Clinical centers



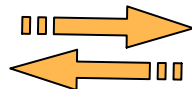
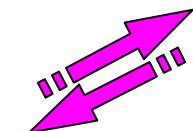
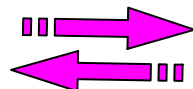
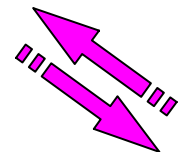
Submit calculation tasks

Retrieve Results

Internet



Cluster



Composantes de TELEDOS



Product features

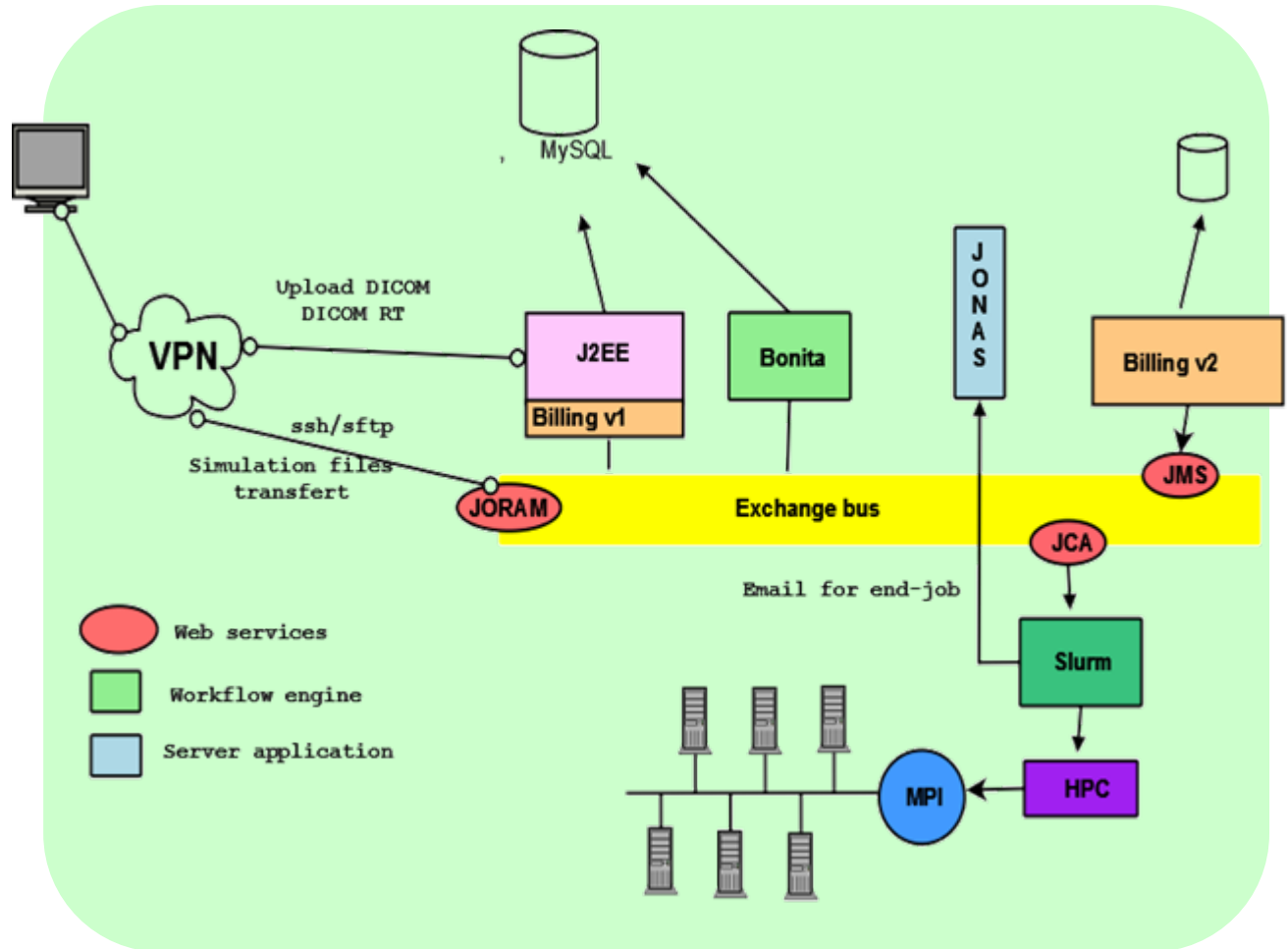
Security

Data integrity

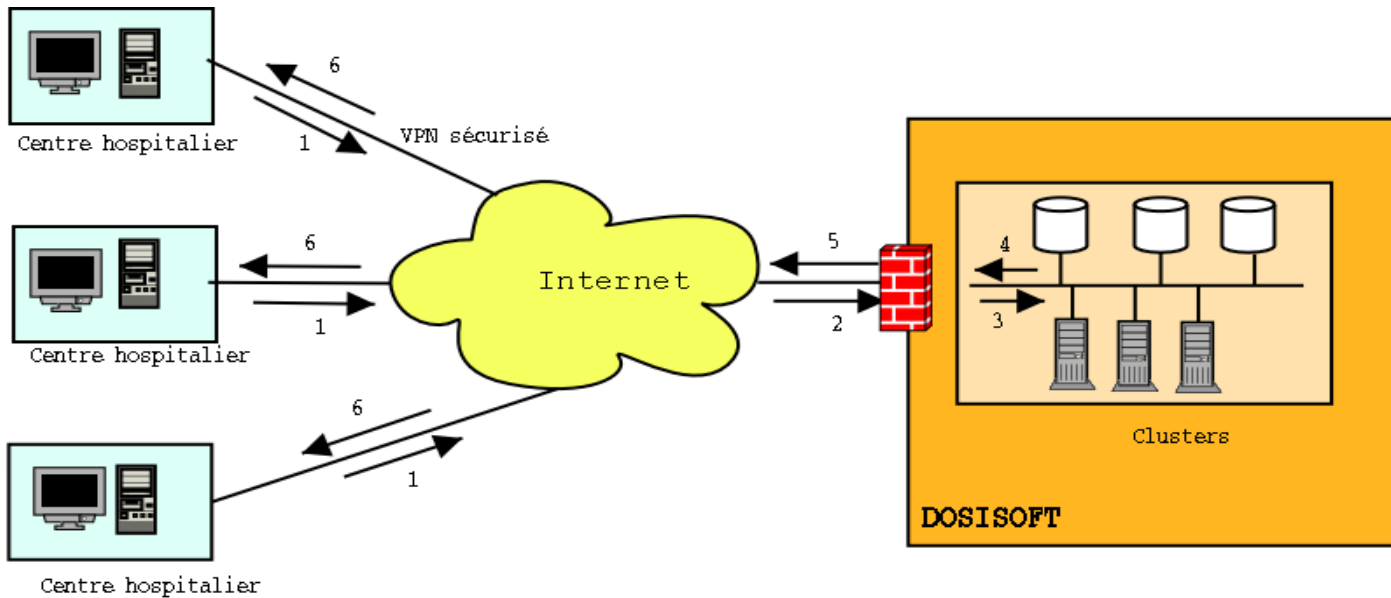
Performances

Evolutivity

Services oriented

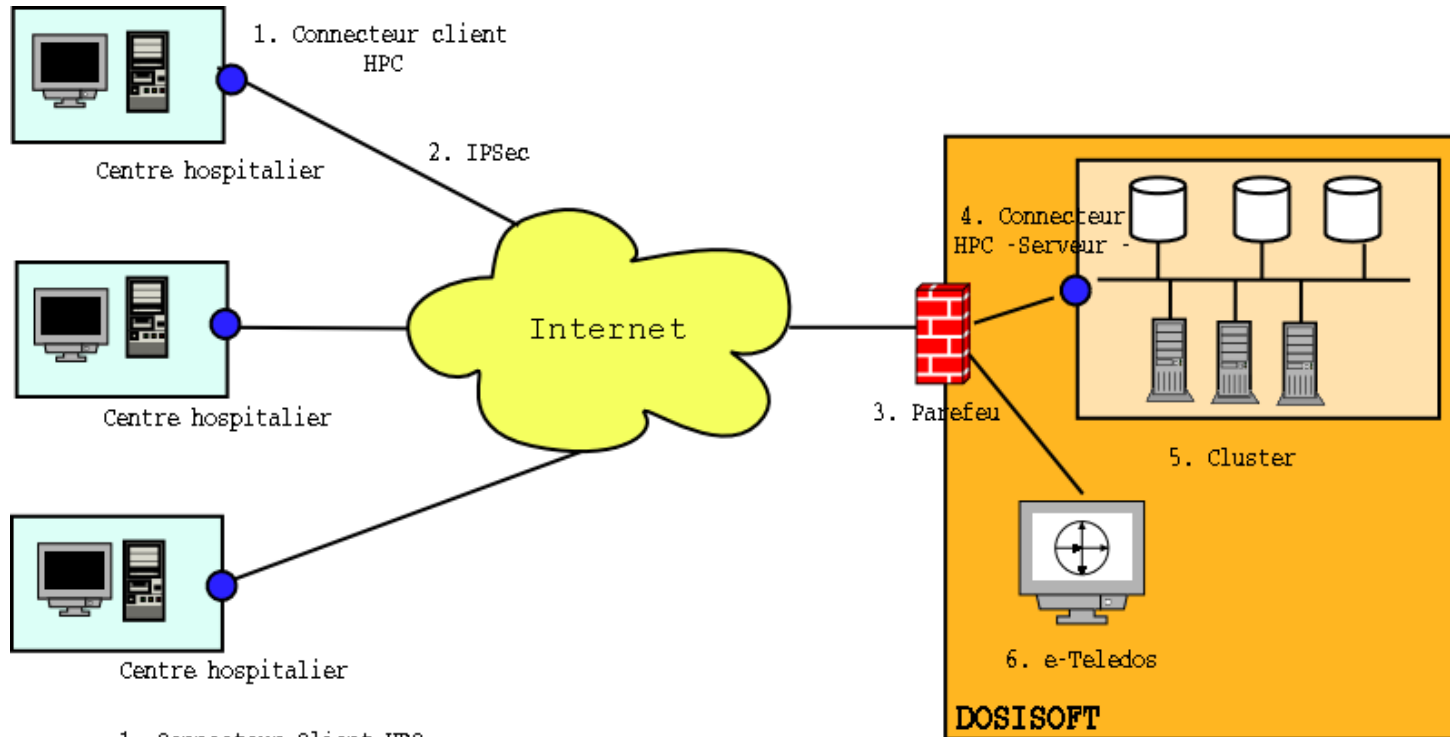


Architecture fonctionnelle de TELEDOS



1. Envoi depuis Isogray des entrants pour le calcul de doses (IpSec)
2. Réception par le connecteur HPC
3. Déclenchement du calcul
4. Renvoi au gestionnaire des calculs
5. Transmission des résultats de la dosimétrie au demandeur
6. Réception du calcul dosimétrique

Architecture technique de TELEDOS



1. Connecteur Client HPC
4. Connecteur Serveur HPC
3. Pare-feu
2. Protocole IPSec : Transfert des données
6. e-Teledos : Portail web de télédos (J2EE)
5. Cluster : 6 noeuds de type BULL NovaScale R422

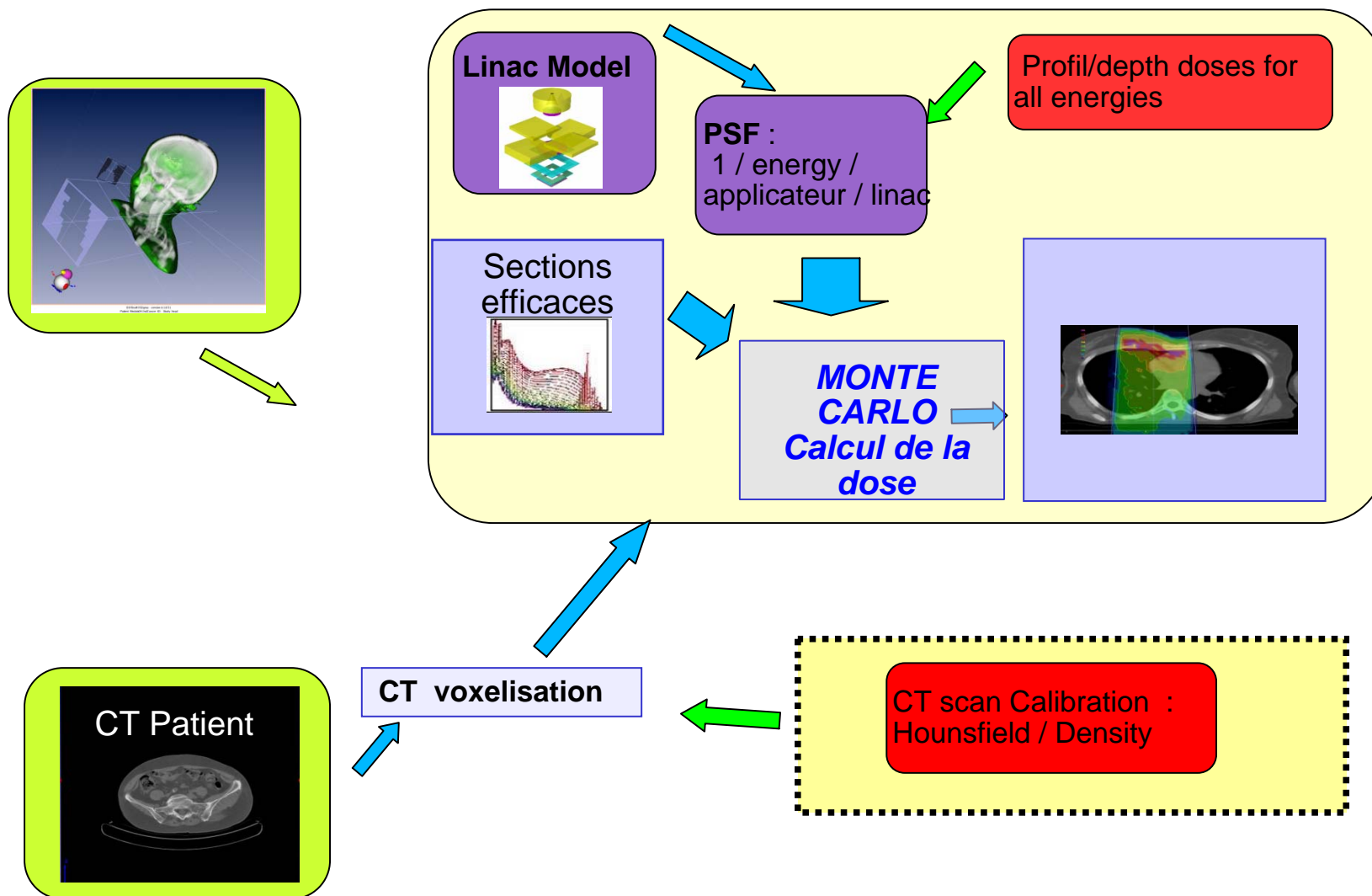
Workflow TELEDOS

Clinical center

DOSIsoft

User

TELEDOS

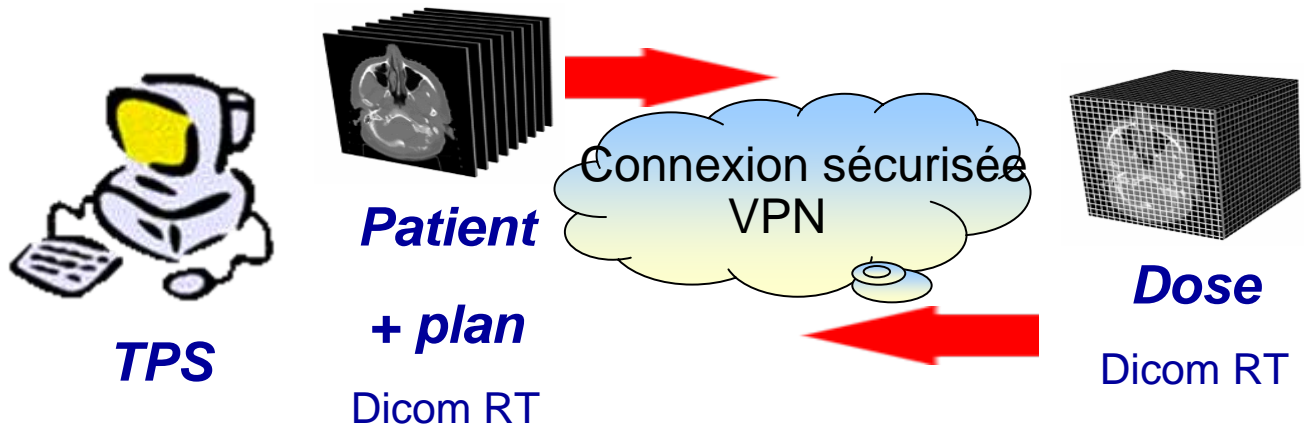




Temps de calcul avec un cluster TELEDOS de 24 processeurs

Configuration faisceau	Temps de calcul (mn)	Incertitudes statistiques (1σ)
6 MeV 10x10	1	1,61%
9 MeV 10x10	1	1,83%
18 MeV 10x10	4	2,29%
6 MV 10x10	3	1,81%
6 MV MLC	6	1,36%
6 MV MLC+Jaws	15	2,80%

Cuve d'eau 20x20x20 cm³ avec voxel 3.75x5x3.75 mm³



TELEDOS TELECALCUL

