



Laboratoires Associés de Radiophysique
et de Dosimétrie

CALCUL DOSIMÉTRIQUE PAR SIMULATION MONTE-CARLO POUR UN TRACEUR TEP : COMPARAISON DE L'APPROCHE PERSONNALISÉE AVEC L'APPROCHE STANDARD

28^{ÈMES} JOURNÉES DES LARD

TOULOUSE, DU 10 AU 12 OCTOBRE 2012

D.Villoing^a, L. Ferrer^b, J. Suhard^a, M. Bardès^a

^aCentre de Recherche en Cancérologie de Toulouse, Université de Toulouse, INSERM UMR 1037

^bService de Physique Médicale, Institut de Cancérologie de l'Ouest, Saint-Herblain, France



- Contexte
 - Etude clinique
 - Problématique : Dosimétrie standard vs Dosimétrie personnalisée
- Détermination de l'activité cumulée
 - A l'échelle de l'organe
 - A l'échelle du voxel
- Comparaison des modes de calcul de la dose absorbée
 - Validation de GRNT

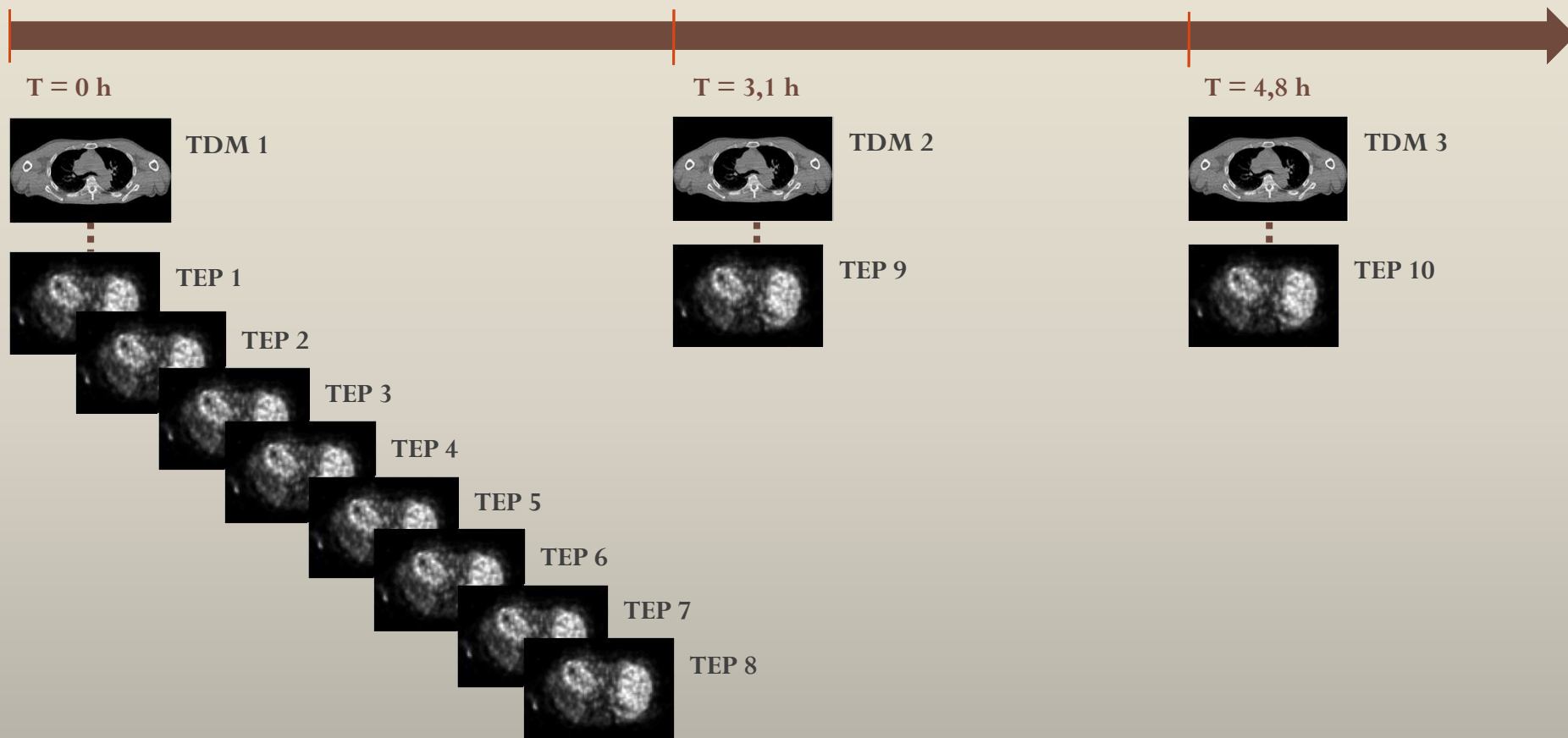
CONTEXTE : ETUDE CLINIQUE

2 / 22

- Projet proposé par GE Healthcare Angleterre
- Maladie d'Alzheimer : diagnostic du dépôt amyloïde
- Equipes : Médecine nucléaire – CHU de Louvain et GE Healthcare Angleterre
- TEP-TDM Siemens Biograph 16
- Marqueur TEP : [^{18}F]AH110690
- Activité injectée moyenne : 121,3 MBq [95,8 – 146,5]
- 8 à 10 acquisitions TEP 3D Corps entier entre $t=0$ et $t=4,8$ h post-injection

CONTEXTE : ETUDE CLINIQUE

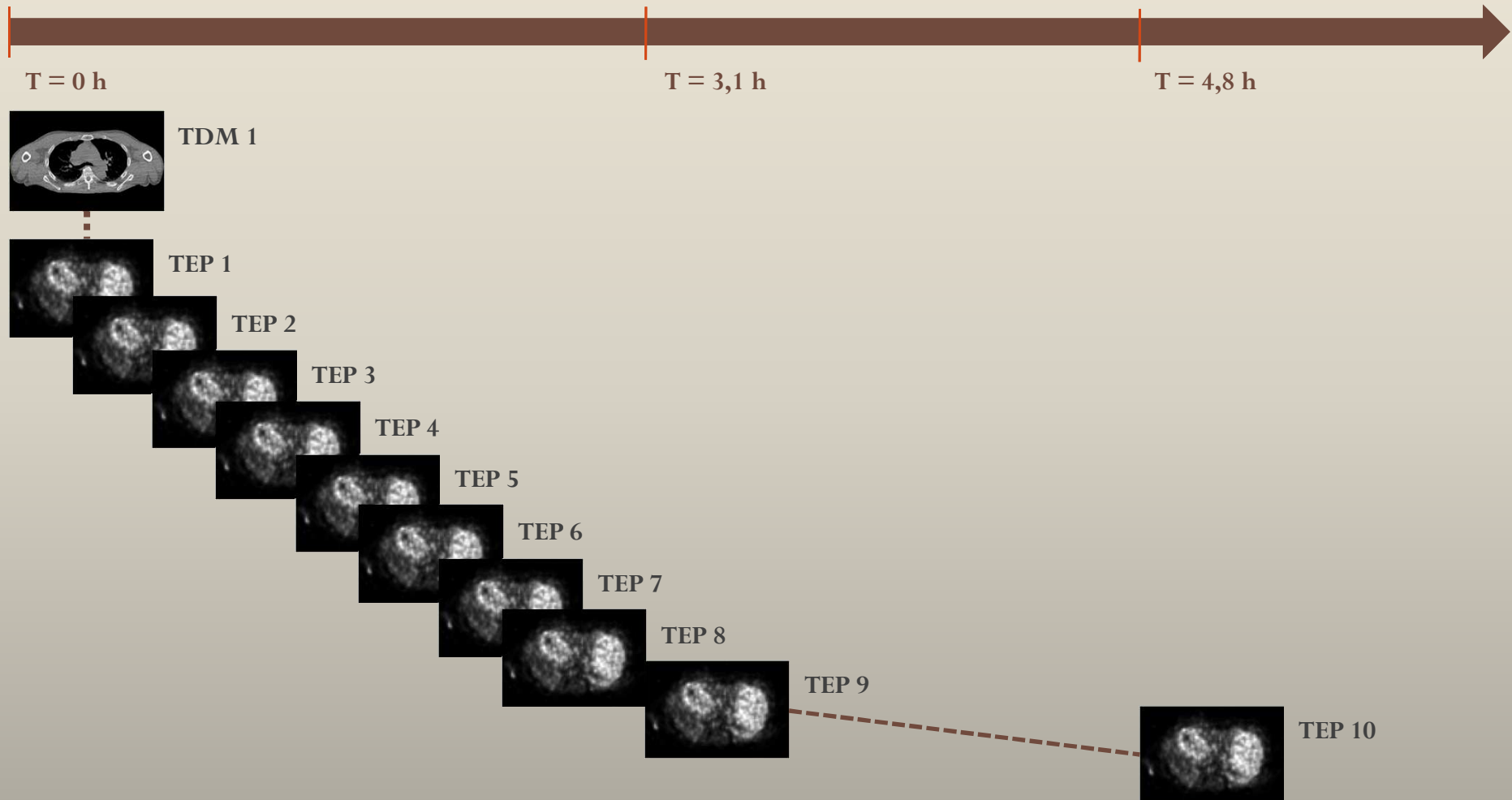
3/22



Répartition des acquisitions TDM et TEP dans le temps, avant recalage

CONTEXTE : ETUDE CLINIQUE

4/22



Répartition des acquisitions TDM et TEP dans le temps, après recalage

CONTEXTE : DOSIMÉTRIE STANDARD VS DOSIMÉTRIE PERSONNALISÉE

- Formalisme du MIRD¹

$$\bar{D}_k = \sum_h \tilde{A}_h \cdot S_{(k \leftarrow h)}$$

	Dosimétrie standard	Dosimétrie personnalisée
Activité cumulée	\tilde{A}_h	Organe / Voxel
Facteur S	Fantôme anthropomorphique	Images TDM du patient
Code de calcul	MIRDOSE, OLINDA ²	Codes Monte-Carlo

¹ Loevinger R, Budinger TF, Watson EE. *MIRD primer for absorbed dose calculations revised*. New York, NY: Society of Nuclear Medicine; 1991

² Stabin MG, Sparks RB, and Crowe E. *OLINDA/EXM: the second-generation personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine*. *J Nucl Med*. 2005;46(6):1023-1027.

DÉTERMINATION DE L'ACTIVITÉ CUMULÉE :

À L'ÉCHELLE DE L'ORGANE

$$\langle \tilde{A} \rangle_{organe}$$

ACTIVITÉ CUMULÉE À L'ÉCHELLE DE L'ORGANE : MATÉRIELS ET MÉTHODES

IMAGES DICOM
+
COORDONNÉES DES VOLUMES D'INTÉRÊT

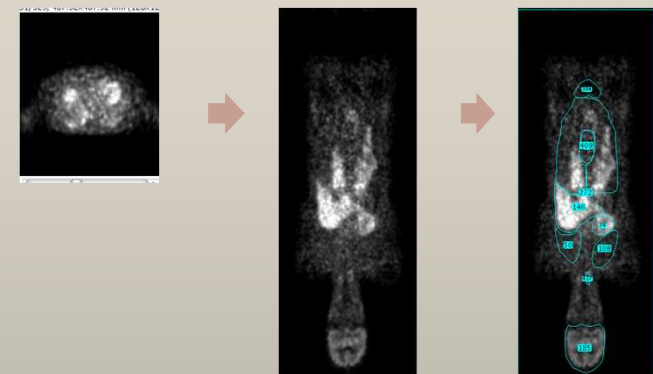
CALCUL DES TEMPS
POST-INJECTION

RECALAGE DES IMAGES TDM
ET TEP (MEDINRIA)

INSERTION DES VOIS SUR LES
IMAGES

EXTRACTION DES
CONCENTRATIONS
D'ACTIVITÉ

VALEURS D'ACTIVITÉ À
L'ÉCHELLE DE L'ORGANE



COURBES ACTIVITÉ-TEMPS
(TACs)

VALEURS D'ACTIVITÉ CUMULÉE À L'ÉCHELLE DE L'ORGANE

ACTIVITÉ CUMULÉE À L'ÉCHELLE DE L'ORGANE : RÉSULTATS

8 / 22

- Résultats d'activité moyenne

	Ecart relatif (en %) Etude/GE, moyenné sur les organes	Ecart-type associé
Sujet 1	3,2	3,3
Sujet 2	5,0	2,3
Sujet 3	6,0	3,1
Sujet 4	1,7	1,0
Sujet 5	1,6	0,6
Sujet 6	2,8	1,1
Tous sujets confondus	3,4	1,9

- Résultats d'activité cumulée à l'échelle de l'organe

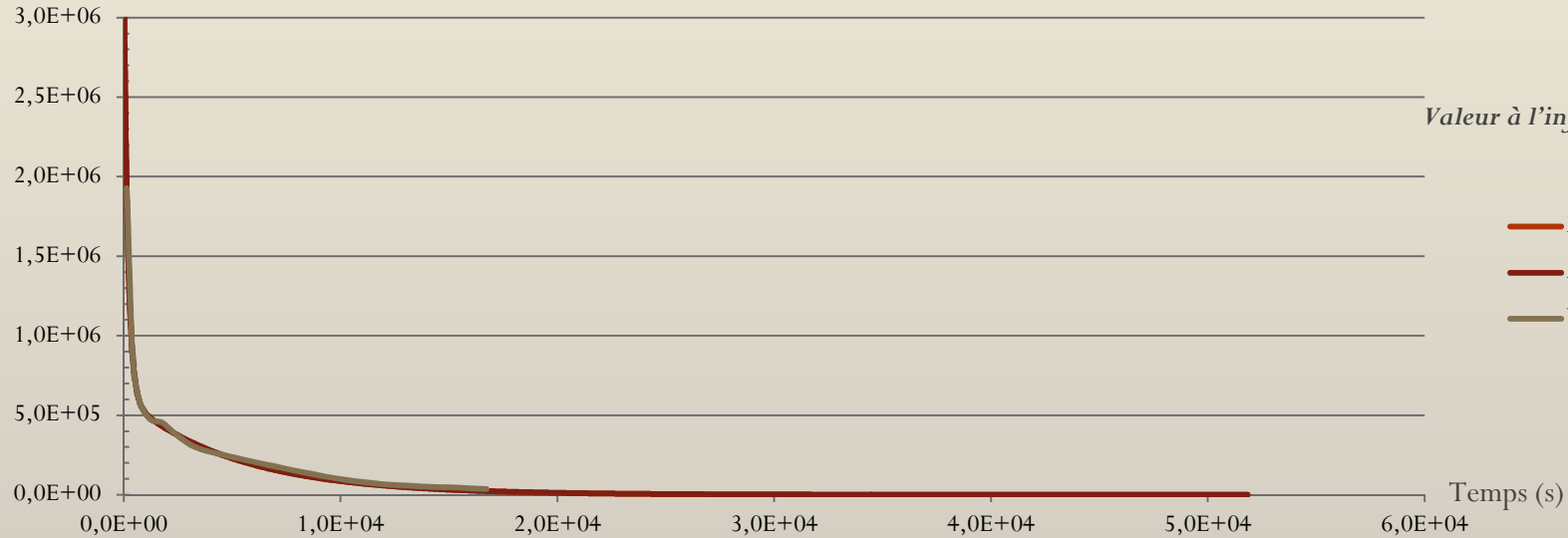
	Activité cumulée moyenne (Bq.s)					
	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6
Cerveau	2,6E+10	2,7E+10	1,8E+10	2,2E+10	3,2E+10	1,2E+10
Vésicule biliaire	9,1E+10	-	7,0E+10	Indéfinie	5,0E+10	Indéfinie
Rate	2,3E+09	1,9E+09	2,7E+09	1,8E+09	2,5E+10	1,2E+10

ACTIVITÉ CUMULÉE À L'ÉCHELLE DE L'ORGANE : RÉSULTATS

9/22

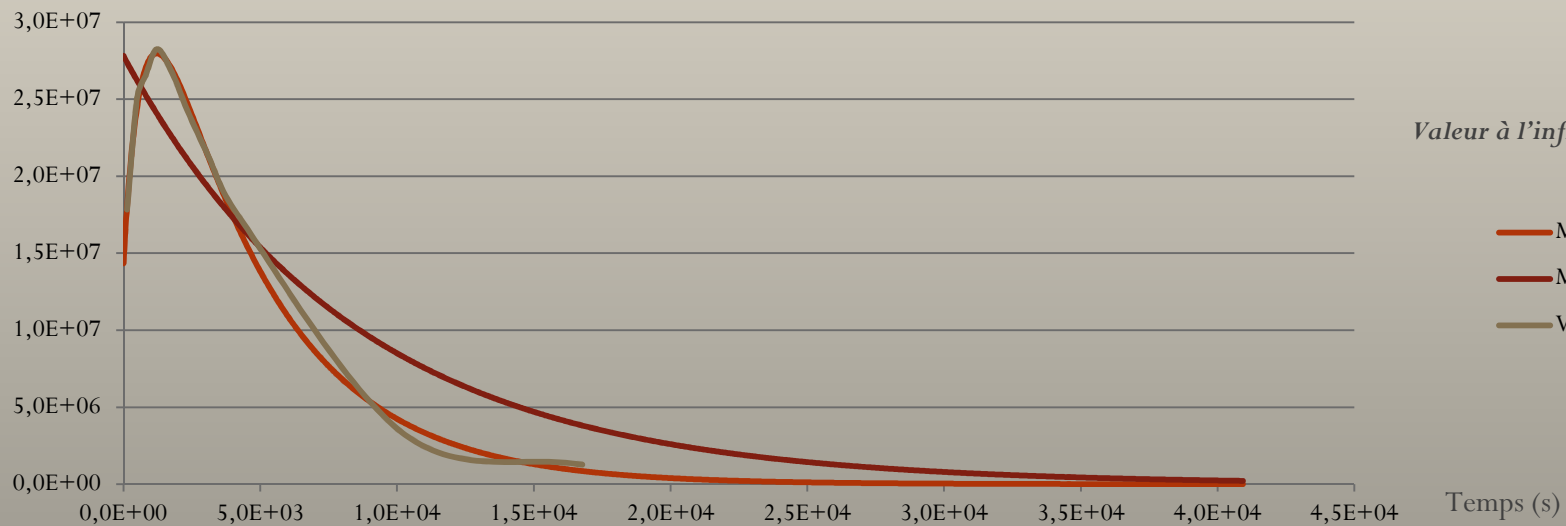
Activité (Bq)

SUJET 1, CŒUR



Activité (Bq)

SUJET 2, FOIE



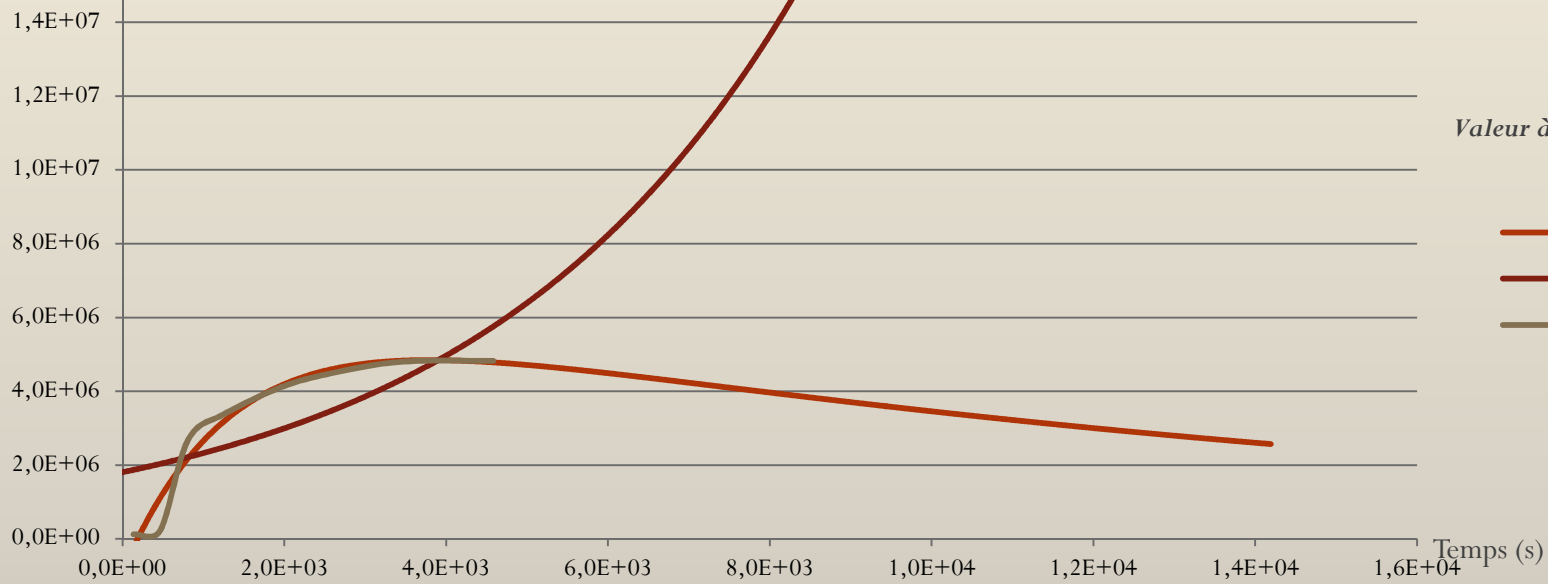
ACTIVITÉ CUMULÉE À L'ÉCHELLE DE L'ORGANE :

10/22

RÉSULTATS

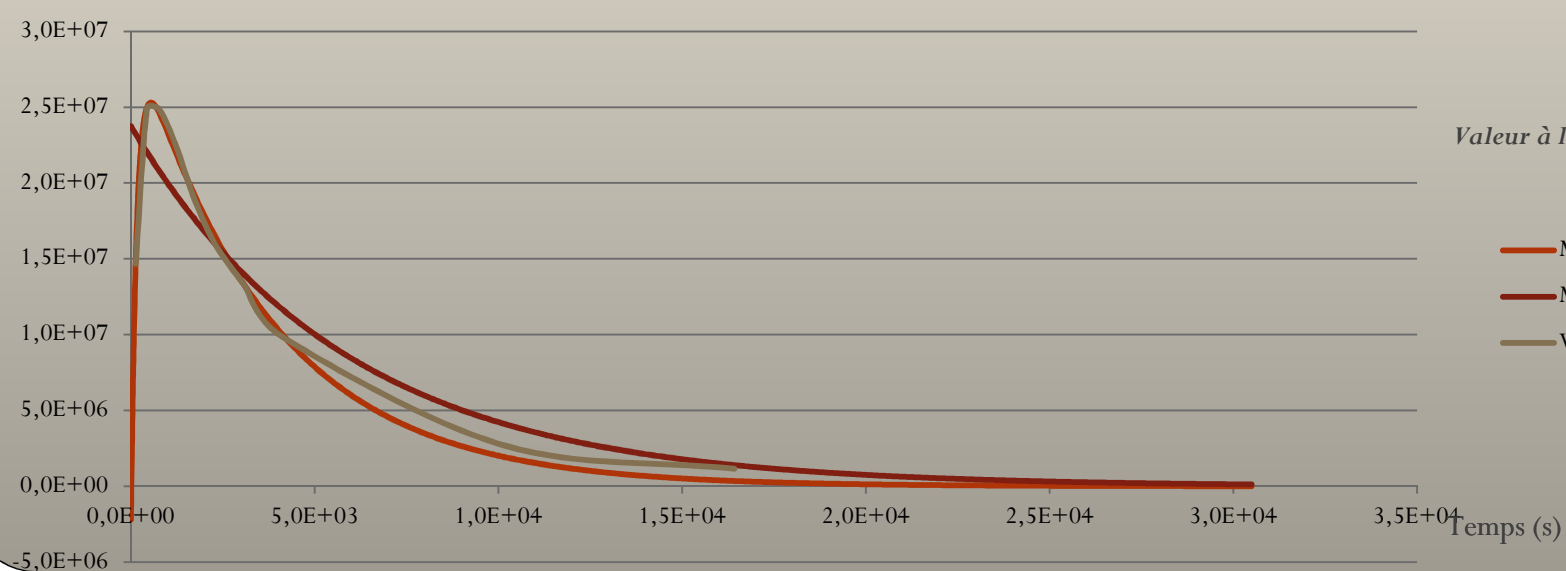
Activité (Bq)

SUJET 6, VESSIE



Activité (Bq)

SUJET 4, FOIE



ACTIVITÉ CUMULÉE À L'ÉCHELLE DE L'ORGANE :

RÉSULTATS & DISCUSSION

11 / 22

- Comparaison des temps de résidence GE/INSERM

Temps de résidence (min)						
Foie	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6
Etude	29,1	20,2	26,8	18,4	20,3	26,6
GE	25,4	24,6	26,9	20,1	20,1	26,3
Ecart (%)	14,3%	18,0%	0,4%	8,3%	0,9%	0,8%

Temps de résidence (min)						
Reins	Sujet 1	Sujet 2	Sujet 3	Sujet 4	Sujet 5	Sujet 6
Etude	3,7	2,0	2,5	1,2	1,0	1,0
GE	3,5	2,3	2,3	1,1	1,4	2,0
Ecart (%)	6,2%	11,3%	10,5%	4,2%	28,7%	50,3%

- Influence de l'ordre de grandeur du temps de résidence
- Acquisitions supplémentaires / mieux réparties dans le temps ?

DÉTERMINATION DE L'ACTIVITÉ CUMULÉE :

À L'ÉCHELLE DU VOXEL

$$\tilde{A}_{\text{voxel}}$$

ACTIVITÉ CUMULÉE À L'ÉCHELLE DU VOXEL :

MATÉRIELS ET MÉTHODES

13/22

IMAGES DICOM

RECALAGE DES IMAGES TDM ET
TEP (MEDINRIA)

CALCUL DES TEMPS
POST-INJECTION

FACTEURS DE CONVERSION :
 C_A (BQ.ML-1) \rightarrow A (BQ)

IMAGES D'ACTIVITÉ

PLUGIN JAVA : AJUSTEMENT DIRECT DES COURBES
À L'ÉCHELLE DU VOXEL

CARTE D'ACTIVITÉ CUMULÉE

ACTIVITÉ CUMULÉE À L'ÉCHELLE DU VOXEL: RÉSULTATS & DISCUSSION

14/22

Rapport entre le calcul d'activité cumulée au voxel et à l'organe, Sujet 4

	Activité cumulée voxel (Bq,s)	Activité cumulée organe (Bq,s)	Rapport
Cerveau	8,6+11	2,2E+10	39,4
Vésicule biliaire	1,4E+10	Indéfinie	-
Cœur	1,0+10	2,8E+09	3,6
Rein L	5,8E+10	1,0E+10	5,7
Rein R	6,3E+10	6,9E+09	9,0
Foie	6,2E+11	1,1E+11	5,7
Poumon G.	6,4E+10	9,5E+09	6,7
Poumon D.	7,7E+10	9,2E+09	8,4

- Sources d'erreur :
 - Ajustements aberrants
 - Recalage au voxel
 - Bruit dans les images
- Mise à l'écart de certains voxels : risque de sous-estimation de l'activité cumulée
- Nouvelles pistes d'optimisation à chercher (ex: analyse en régions fonctionnelles)

COMPARAISON DES MODES DE CALCUL
DE LA DOSE ABSORBÉE

COMPARAISON DES MODES DE CALCUL DE LA DOSE ABSORBÉE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

16/22

- Codes Monte-Carlo

MCNPX ³	Monte Carlo N-Particle eXtended	Code source non libre Soumis à la réglementation américaine Payant
GEANT4 ⁴	GEometry ANd Tracking 4	Code source libre Européen Gratuit Possède son propre compteur de dose, mais format non approprié à l'imagerie (csv)
GATE ⁵	Geant4 Application for Tomographic Emission	Modélisation de systèmes d'acquisition en tomographie d'émission ou de transmission et en thérapie Jusqu'ici moins spécifique à la dosimétrie (dernière version 6.1 plus adaptée, à étudier)
GRNT	Geant4 RadioNuclide Therapy	Interne au laboratoire Ecrit par Erin McKay (St George Hospital, Sydney) Basé sur GEANT4, versions 9.3 et 9.4 Cartes de distributions de dose absorbée

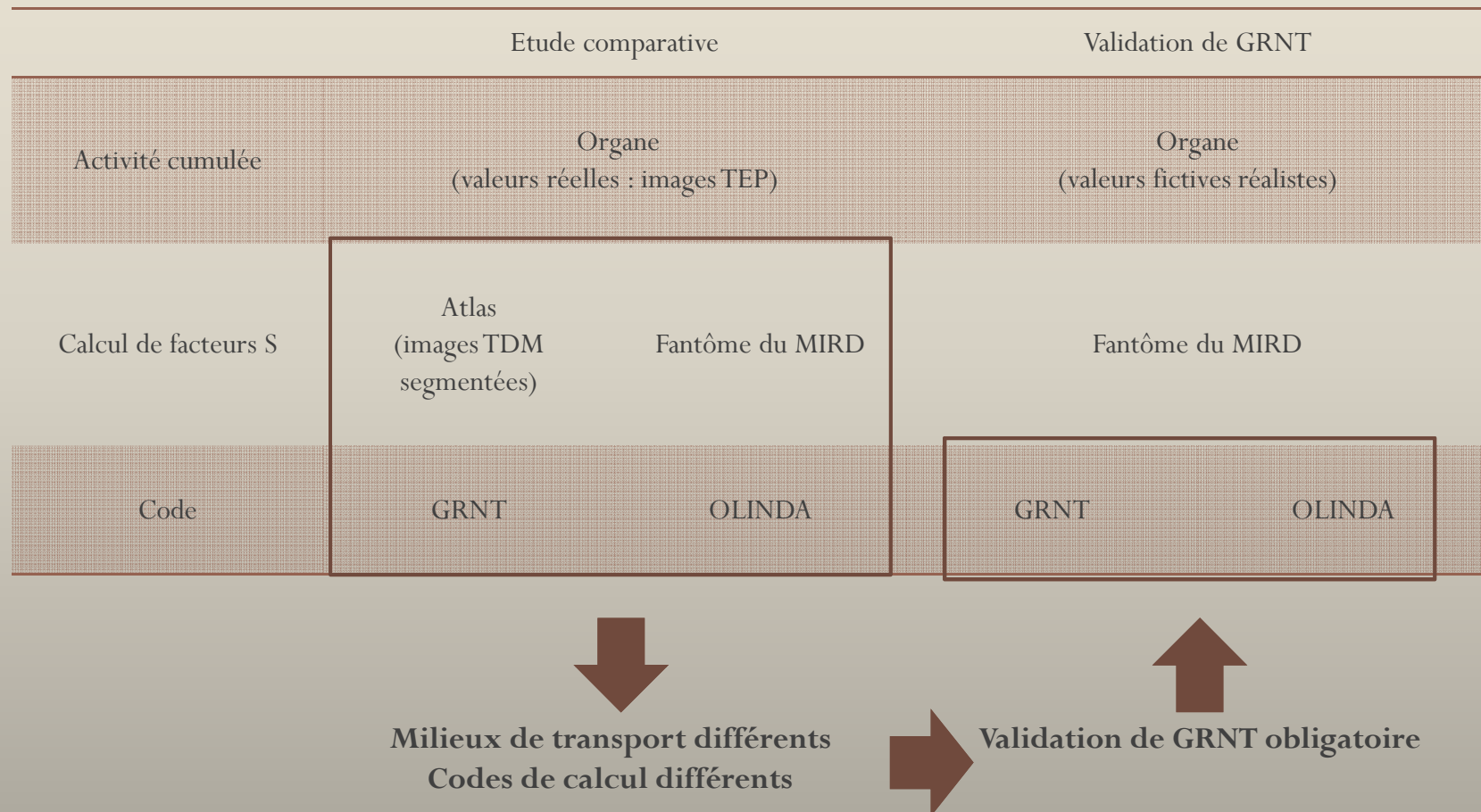
³ Agostinelli S, Allison J, Amako K, et al. Geant4-a simulation toolkit. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. 2003; 506(3):250-303

⁴ Hendricks JS. MCNPX extensions, version 2.5.0. Los Alamos National Laboratory Report LA-UR-04-0570. Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory, 2004

⁵ Jan S, Benoit D, Becheva E, et al. GATE V6: a major enhancement of the GATE simulation platform enabling modelling of CT and radiotherapy. *Phys. Med. Biol.* 2011; 5:881-901

COMPARAISON DES MODES DE CALCUL DE LA DOSE ABSORBÉE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

17/22

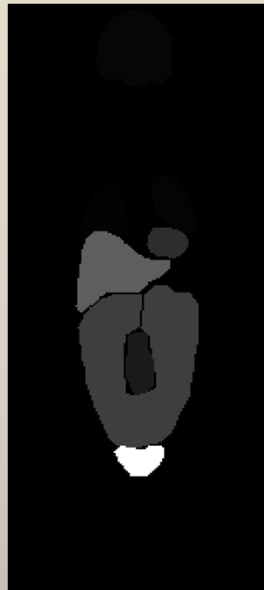


COMPARAISON DES MODES DE CALCUL DE LA DOSE ABSORBÉE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

18/22

Données d'entrées

Donnée de sortie



Carte d'activité cumulée



Atlas = image TDM segmentée en n matériaux

Commande « macro »



- Dimensions matrice
- Composition des matériaux
- Spectre d'émissions
- Nombre de particules à simuler

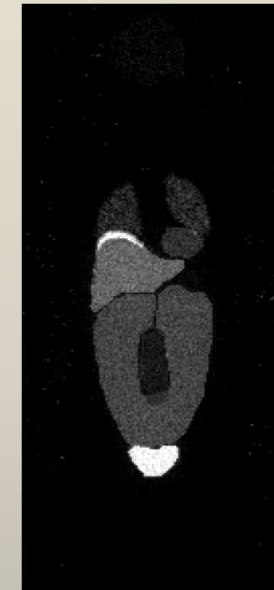
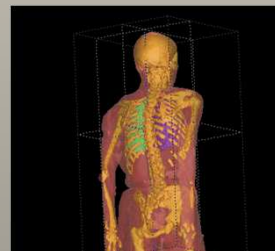


Image de distribution de la dose absorbée



COMPARAISON DES MODES DE CALCUL DE LA DOSE ABSORBÉE : MATÉRIEL ET MÉTHODES

19/22

- Pour la validation de GRNT :

Fantôme du MIRD voxélisé



Création de cartes
d'activité cumulée fictive



atlas = fantôme
du MIRD segmenté

COMPARAISON DES MODES DE CALCUL DE LA DOSE ABSORBÉE : RÉSULTATS

20/22

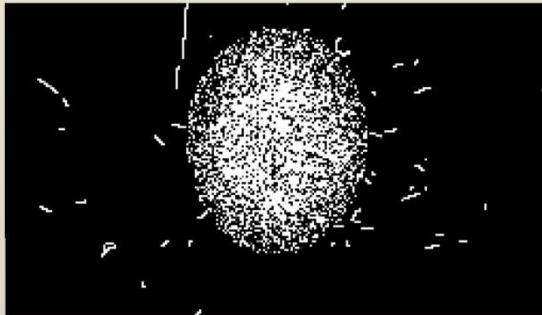


IMAGE DE DOSE ABSORBÉE ; RÉGION SOURCE = CERVEAU

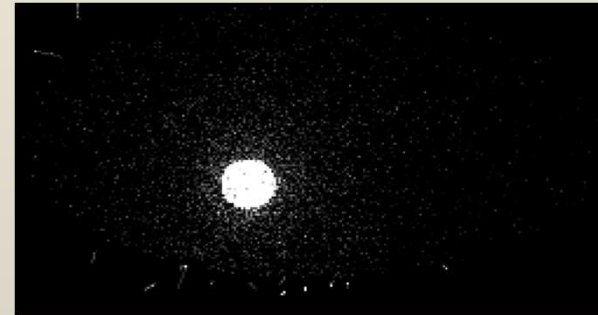


IMAGE DE DOSE ABSORBÉE ; RÉGION SOURCE = VÉSICULE BILIAIRE

	Activité cumulée (Bq,s)	Dose Conversion Factor DCF (mGy/MBq,s)	Dose absorbée OLINDA (mGy)	Dose absorbée GRNT (mGy)
Cerveau	2,1E+09	4,6E-05	98,8	0,2
Cœur	1,2E+09	3,0E-06	3,5	0,6
Foie	2,9E+09	7,0E-07	2,0	0,7
Vésicule biliaire	9,0E+07	3,2E-07	0,1	0,1
Reins	4,5E+09	3,6E-06	16,4	0,1

COMPARAISON DES MODES DE CALCUL

21 / 22

DE LA DOSE ABSORBÉE : RÉSULTATS & DISCUSSION

- Comparaison entre GRNT / GEANT4

	Activité cumulée (Bq,s)	Dose absorbée Grnt (Gy)	Dose absorbée Geant4(Gy)	Ecart en %
Cerveau	2,1E+09	1,8E-04	1,9E-04	2,6
Cœur	1,2E+09	5,6E-04	6,0E-04	6,5
Foie	2,9E+09	7,0E-04	7,5E-04	6,5
Vésicule biliaire	9,0E+07	1,4E-04	1,4E-04	3,8
Reins	2,1E+09	1,8E-04	1,9E-04	2,6

- Résultats GRNT/OLINDA incohérents
- Résultats GRNT/GEANT4 cohérents
- Définition des sources dans GRNT : énergies moyennes actuellement définies, spectres continus à intégrer

- Utilisation de données acquises et traitées par une autre équipe : complexe !
- Bons résultats d'activité moyenne et d'activité cumulée à l'échelle de l'organe
- Activité cumulée à l'échelle du voxel : développement à poursuivre
- Comparaison des codes de calcul : validation de GRNT indispensable et à continuer avec le fantôme du MIRD
- A l'avenir : si GRNT validé
 - Etude comparative à terminer avec GRNT, sinon choix d'un autre code
 - Possibilité de l'intégrer à d'autres projets comme DOSITEST, sinon GATE 6.1 à explorer
- Mise en évidence des nombreuses erreurs qui interviennent dans la chaîne dosimétrique en médecine nucléaire : cœur du projet DOSITEST