

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

OEDIPE : outil de modélisation pour la dosimétrie interne personnalisée

A. Desbrée, S. Lamart, D. Broggio, D. Franck

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
Laboratoire d'Évaluation de la Dose Interne

SFRP, 27-28 mai 2008

La dosimétrie individuelle des travailleurs et des patients: mise en œuvre et perspectives

Sommaire

- Enjeux de la dosimétrie interne
- Contamination interne accidentelle
- Médecine nucléaire
- Le logiciel OEDIPE
- Validations et applications
- Recherches en cours et perspectives

Enjeux de la dosimétrie interne

L'incorporation de radionucléides peut être accidentelle (blessure, ingestion, inhalation) ou volontaire comme en médecine nucléaire

■ En cas de contamination interne accidentelle

→ Estimation de l'ampleur de la contamination, sa nature et sa distribution anatomique afin de guider la prise en charge sanitaire.

→ Déterminer l'activité retenue et la dose reçue dans les différents organes.

■ En médecine nucléaire (radiothérapie)

→ Optimisation du traitement standard en le personnalisant tout en préservant les tissus sains.

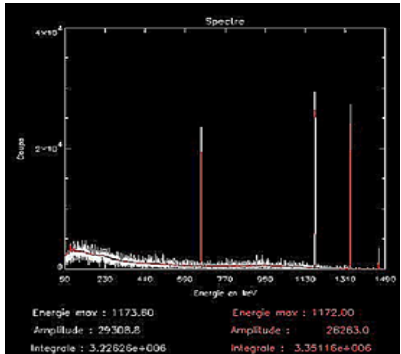
→ Amélioration de la connaissance sur la relation dose-effet du traitement.

→ Estimation de doses précises, spécifiques à chaque patient.

Contamination interne accidentelle

■ Anthroporadiamétrie (mesure *in vivo*)

Mesure externe des émissions X ou γ issues de la contamination radioactive d'un individu

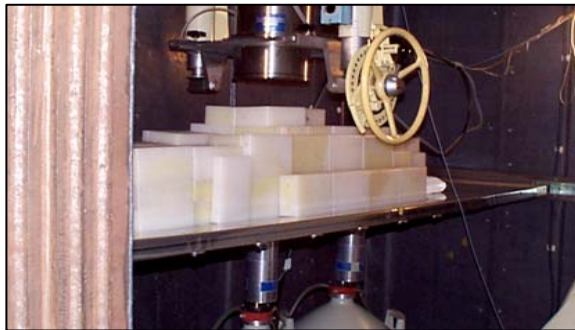


- Identification des radionucléides incorporés
- Estimation de la rétention d'activité dans l'organisme ou dans un organe

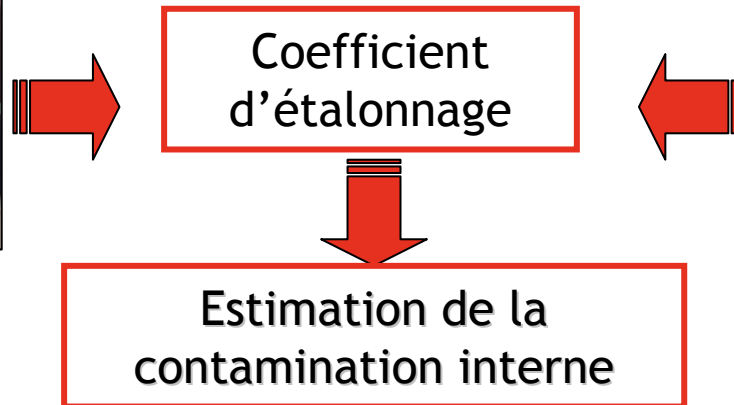


Mesure pulmonaire *in vivo*

■ Etalonnage avec des fantômes physiques anthropomorphes



Fantôme IGOR
Haute énergie, corps entier



Fantôme Livermore
Basse énergie, poumons

Limites de ces fantômes

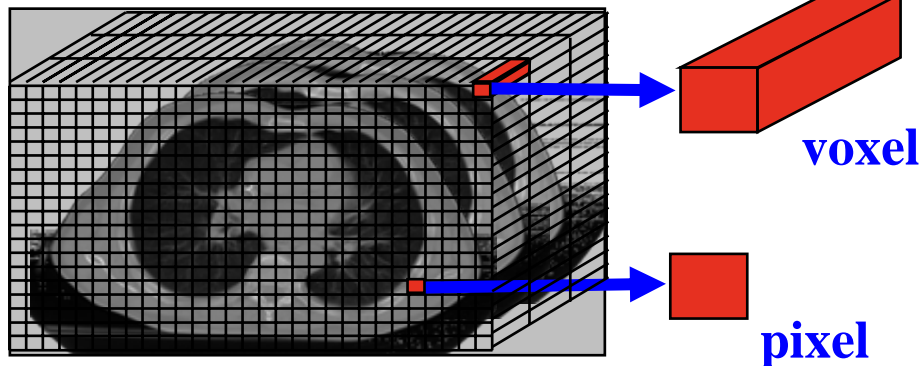
Plus ou moins représentatif du corps humain :

- ✓ **CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES :**
morphologie, composition chimique, densité...
- ✓ **NATURE ET REPARTITION DE LA RADIOACTIVITE:**
Géométrie des sources, homogénéité
- ✓ **GEOMETRIE FIXE**
Représentatif d'une seule personne

COMMENT SURMONTER CES CONTRAINTES ?

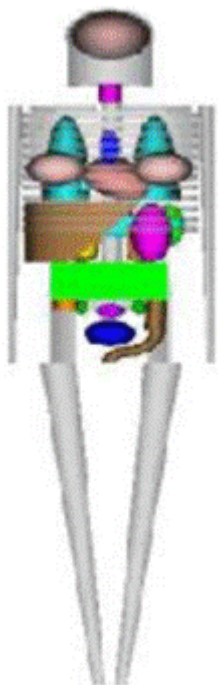


En utilisant
des fantômes
voxelisés



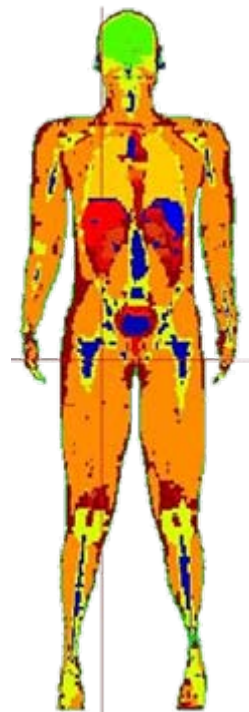
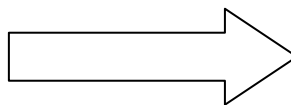
Médecine nucléaire

Calcul de la dose interne



Fantôme
mathématique

MIRD



Fantôme
voxélisé

Dosimétrie Personnalisée



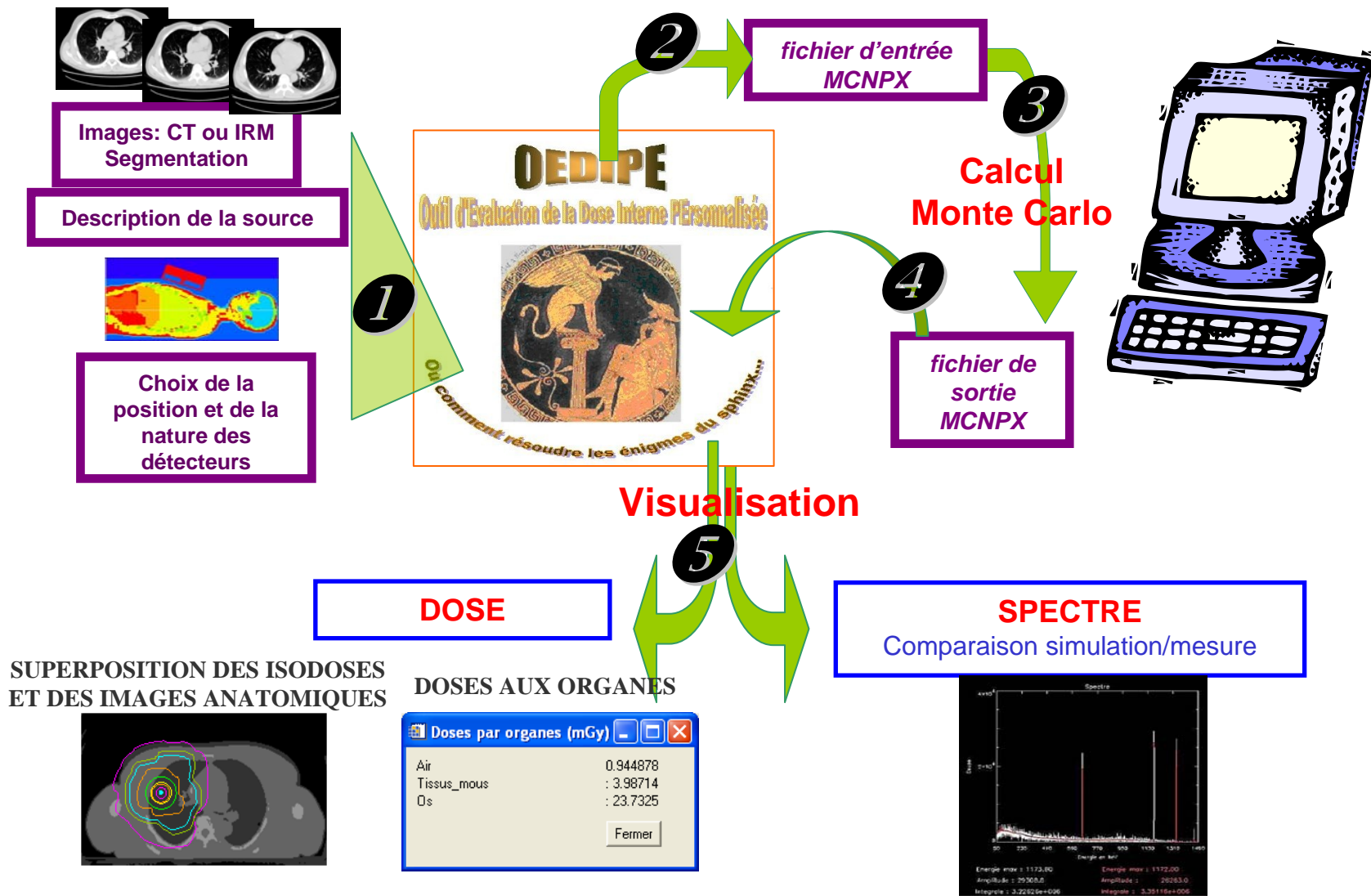
Le logiciel OEDIPE

Outil d'Evaluation de la Dose Interne Personnalisée

- ✓ création de fantômes spécifiques
- ✓ création du fichier d'entrée MCNPX
- ✓ traitement du fichier de sortie MCNPX

OEDIPE

Outil d'Evaluation de la Dose Interne PErsonnalisée



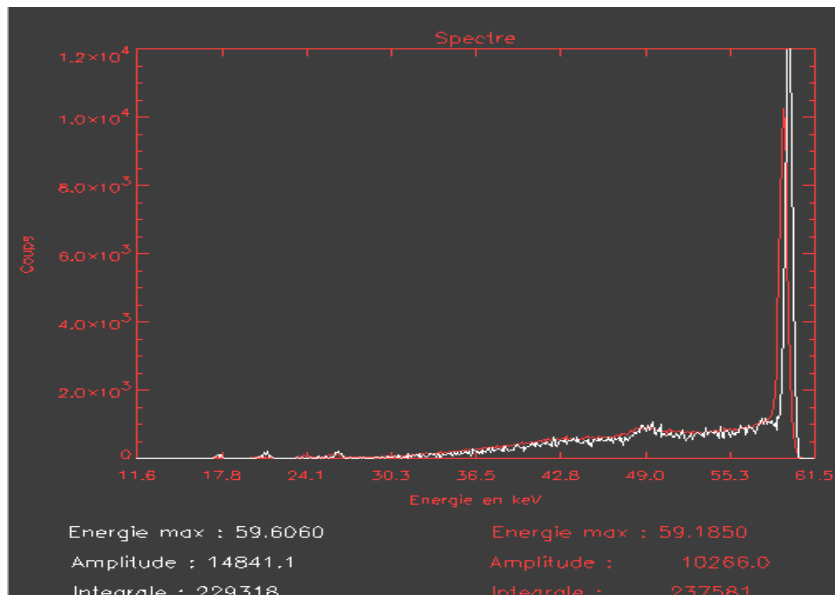
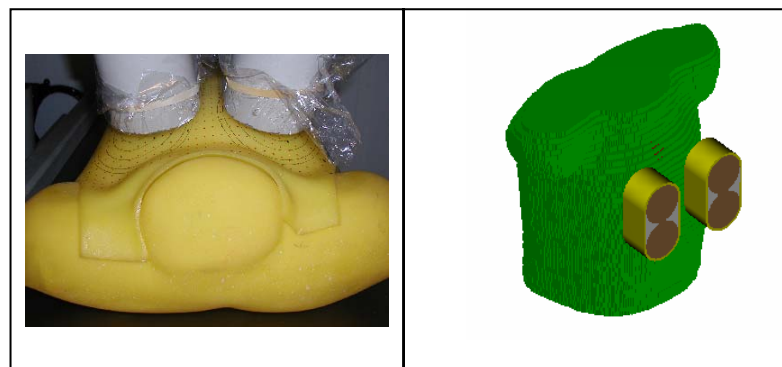
VALIDATIONS ET APPLICATIONS

■ En contamination interne accidentelle

- **Validation** : Comparaison d'un spectre simulé et expérimental pour un système de mesure pulmonaire en collaboration avec AREVA (Marcoule, France)

Pierrat et al (2005), IEEE Trans Nucl Sci, 52(5):1353-58

- 1 Modélisation de l'installation de mesure pulmonaire du LABM de Marcoule
- 2 Validation avec des sources ponctuelles
- 3 Modélisation du fantôme Livermore



- 4 Création d'un spectre simulé avec OEDIPE pour des poumons chargés en ^{241}Am
- 5 Validation par comparaison avec le spectre expérimental correspondant

⇒ Différences < 10% entre simulation et mesure

- **Application** : Détermination de l'activité des radionucléides et de la dose reçue par un travailleur du nucléaire suite à une blessure à l'index droit

Broggio et al, Health Physics, accepté

1

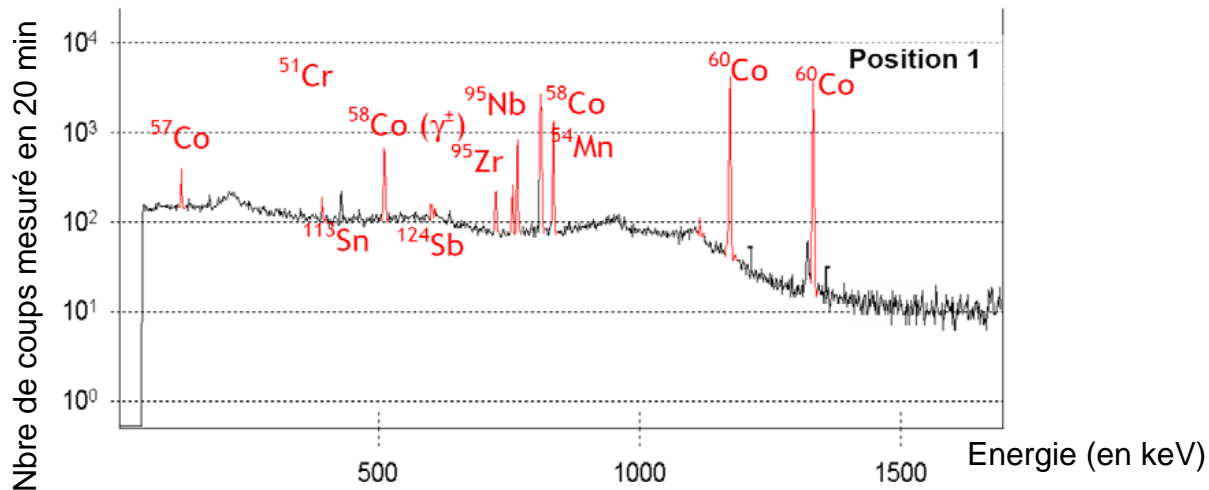
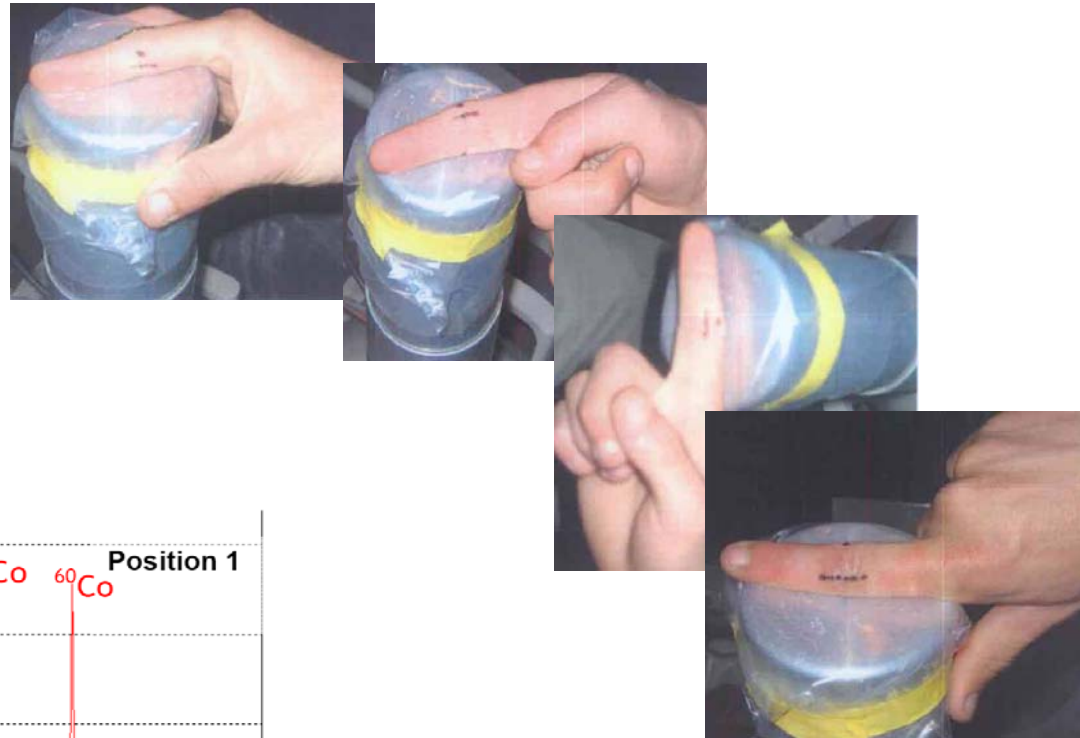
Mesures avec un détecteur Germanium dans 4 positions



Spectres expérimentaux

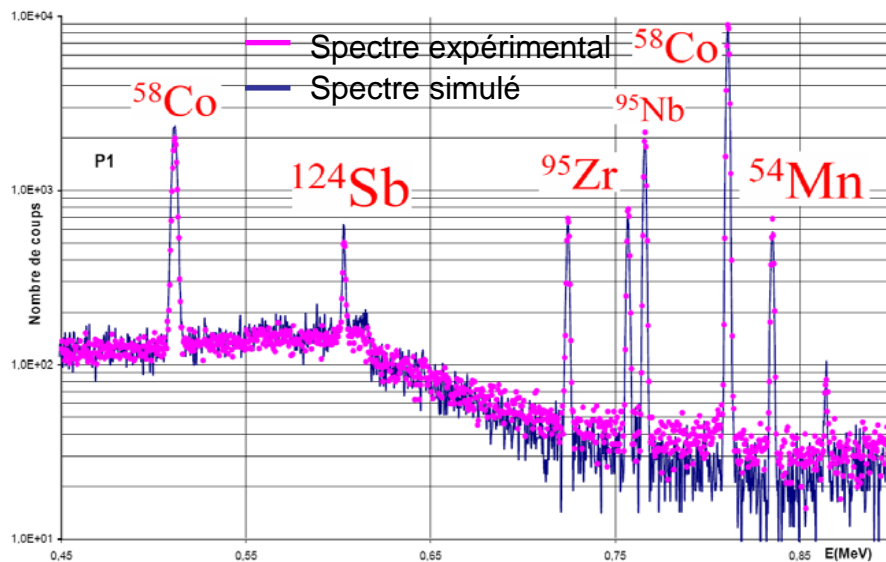
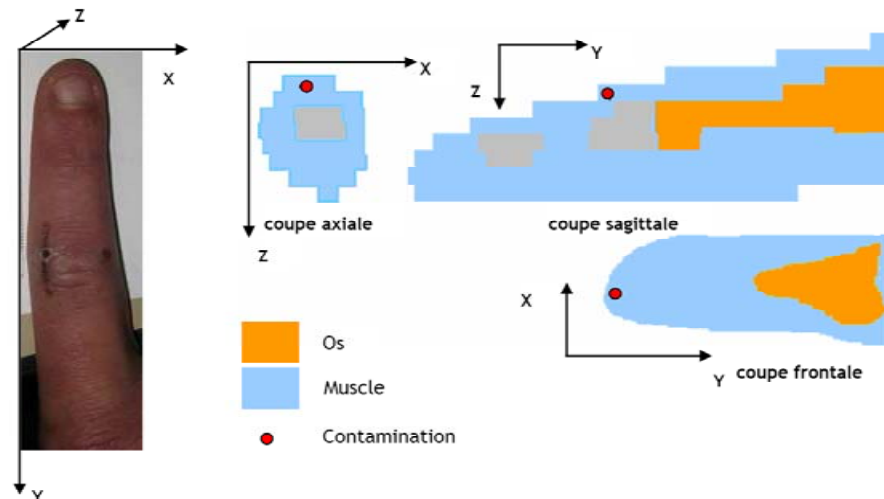


Onze radionucléides identifiés



2 Simulations avec OEDIPE

- α fantôme d'index voxelisé
- α détecteur germanium
- α source ponctuelle
- α simulation du parcours des particules
- α spectre simulé

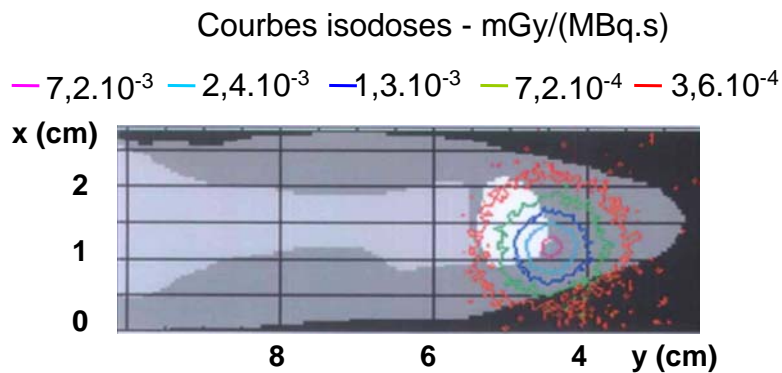


3 Comparaisons spectres expérimentaux / simulés

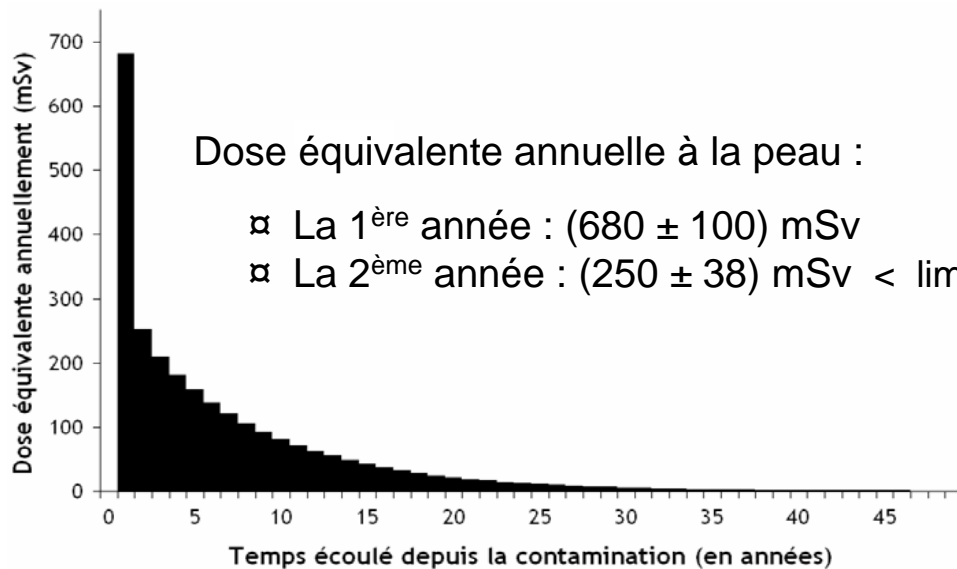
- ↪ localisation de la contamination
- ↪ activité ($13,8 \pm 0,6$ kBq)

4 Calcul de doses et réglementation

Courbes isodoses obtenues via OEDIPE et MCNPX



Exemple d'isodoses superposées à une coupe transverse du doigt contaminé pour le ^{58}Co



Dose équivalente annuelle à la peau :

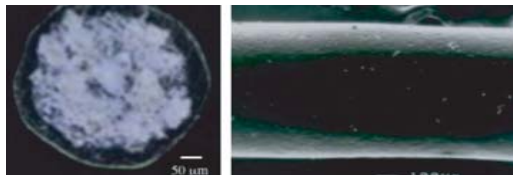
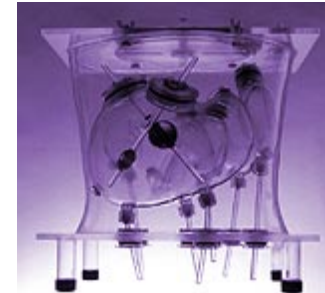
- La 1^{ère} année : (680 ± 100) mSv
- La 2^{ème} année : (250 ± 38) mSv < limite annuelle de 500 mSv pour les travailleurs

■ En médecine nucléaire

- **Validation** : comparaison entre mesures dosimétriques expérimentales et résultats simulés
Chiavassa et al (2006), Radioprotection, 41(4):401-411

Sphère radioactive simulant une tumeur radiomarquée placée dans le foie du fantôme Liqui-Phil™

Foie et sphère remplis d' ^{131}I avec des activités respectives de 78,5 et 256 MBq



3 fils dosimétriques thermoluminescents placés de part et d'autre de la sphère tumorale

- ① Système imagé par tomodensitométrie
- ② Création de la géométrie voxelisée
- ③ Simulations avec MCNPX

Dose absorbées moyennes (Gy)

	Mesurée	Simulée	Rapport
Fil 1	2,22	2,02	1,10
Fil 2	2,70	2,74	0,99
Fil 3	2,47	2,66	0,93

- **Application** : Dosimétrie personnalisée (réalisée en collaboration avec le CRLCC de Rennes) pour le traitement des carcinomes hépatocellulaires
Chiavassa (2005), thèse de l'université Paul Sabatier



Cancer fréquent : 5^{ème} rang avec 437000 nouveaux cas par an dans le monde



Pronostic sombre : rapport mortalité/incidence est autour de 1



Traitement "d'attente" pour limiter la progression tumorale

Injection intra-artérielle hépatique de lipiodol marqué à l'¹³¹I (Lipiocis™)

Le lipiodol a la particularité de suivre le flux artériel, de se distribuer principalement au sein des formations tumorales et d'y rester durant une longue période (plusieurs mois).

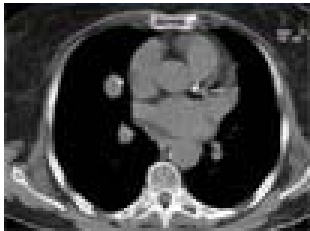
75% du Lipiocis injecté reste au niveau hépatique; le reste est retrouvé au niveau pulmonaire

L'activité injectée est la même pour tous les patients quelque soit la taille tumorale et le nombre d'injections déjà réalisées : 2,2 GBq

- ↪ Sous-dosage dans la tumeur
- ↪ Pneumopathies chez 2% des patients pouvant être dues à un surdosage dans les poumons

Réalisation d'une dosimétrie personnalisée pour déterminer l'activité optimale à injecter pour avoir une irradiation maximale de la tumeur tout en protégeant les tissus sains

Dosimétrie réalisée avec OEDIPE à partir les images anatomiques et fonctionnelles des patients



Images CT : création du fantôme patient



Images TEMP : matrices d'activités cumulées utilisées comme source

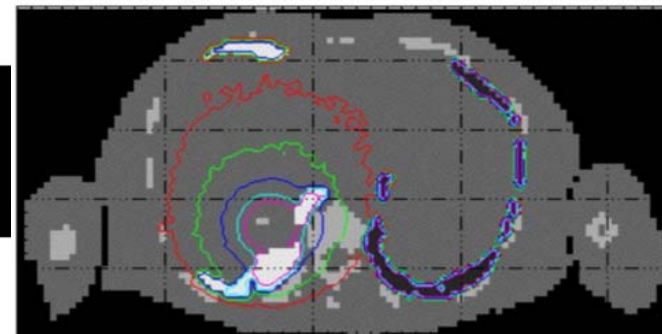
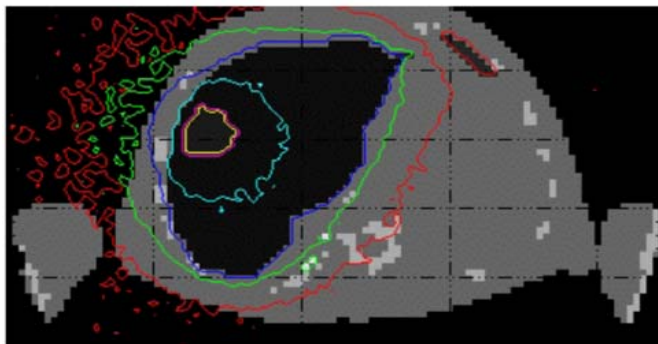
Dosimétrie à l'échelle des organes (Gy)

Dose absorbée élevée pour le patient 2 dans le poumon gauche due à une malformation de l'artère hépatique

Organes sources	Patient 1	Patient 2
Os	0,56	0,93
Tissus mous	0,62	0,69
Poumon droit	2,89	7,80
Poumon gauche	1,49	18,80
Foie	18,97	11,36
Tumeur	476,55	461,78

Dosimétrie à l'échelle des voxels

Distribution spatiale de dose sous forme d'isodoses superposées aux images anatomiques segmentées de 2 patients



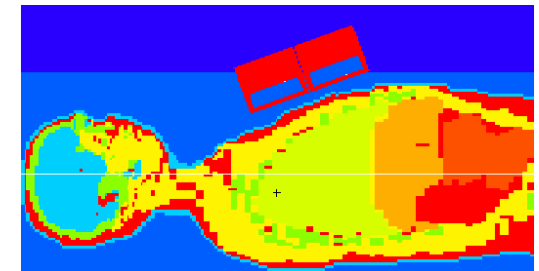
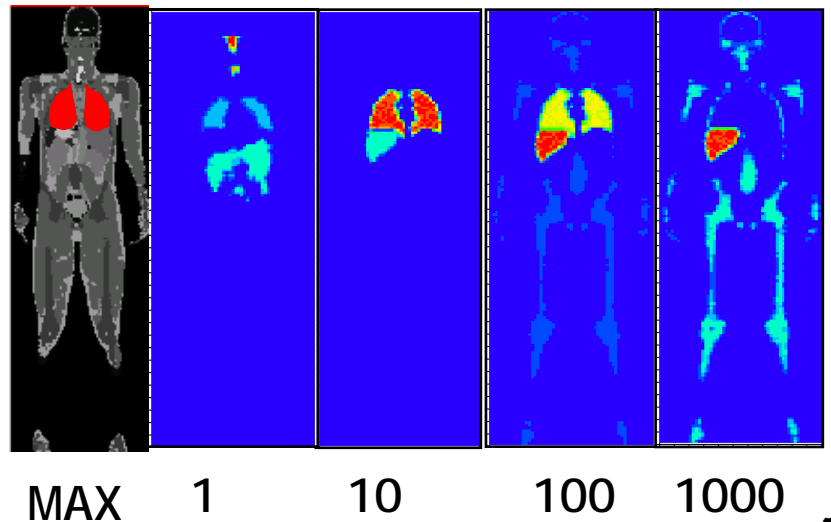
■ Recherche en cours

- Utilisation dans OEDIPE des distributions biocinétiques de la CIPR pour la modélisation de la contamination interne

OEDIPE

Modélisation de la source **plus réaliste**
Am-241, Type d'absorption M

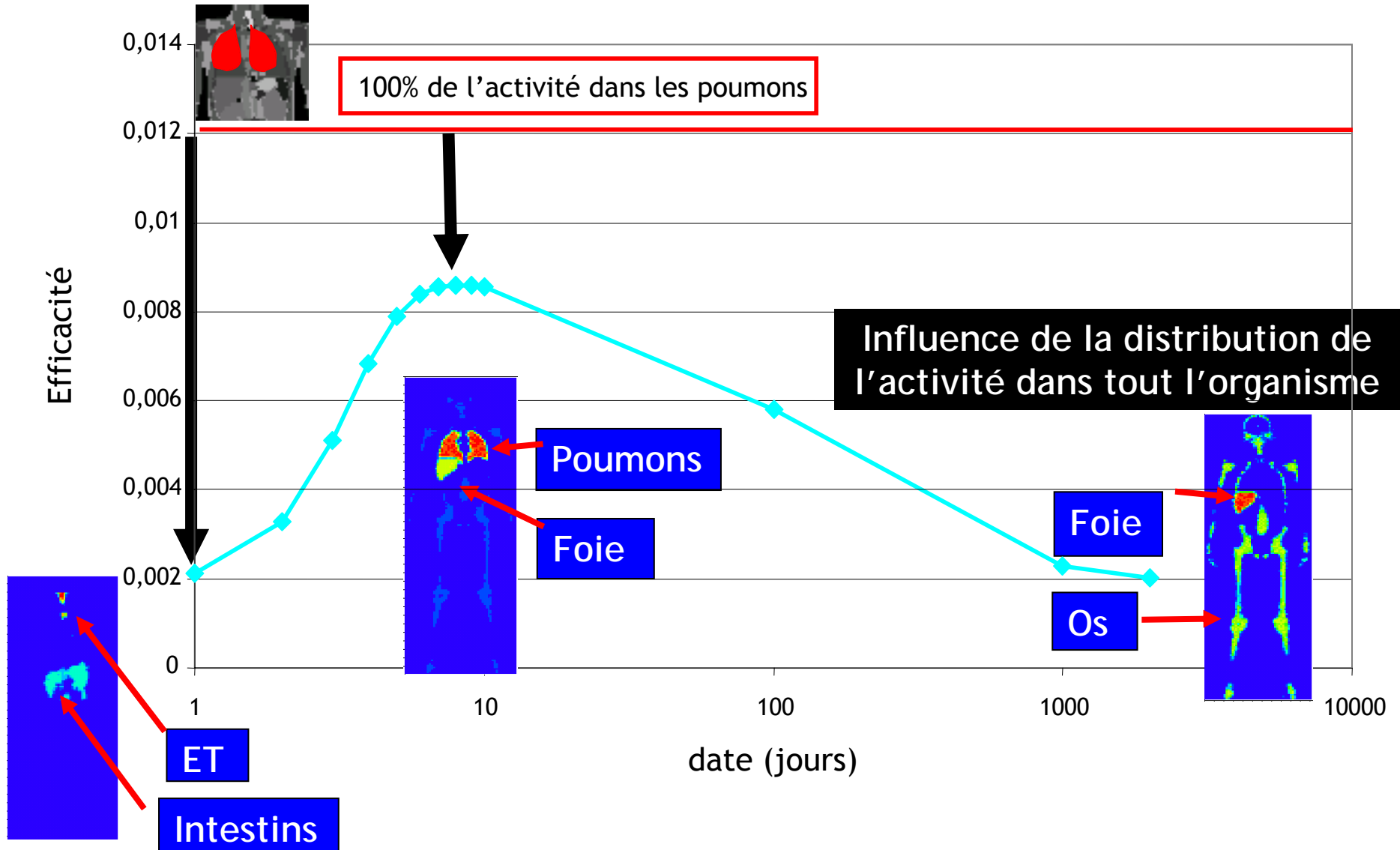
Simulation de la mesure *in vivo*



➔ Quantification de l'influence de la biocinétique sur la mesure *in vivo*

Lamart *et al.*, Automatic application of ICRP biokinetic models in voxel phantoms for *in vivo* counting and internal dose assessment, Radiat. Prot. Dosim., 2007.

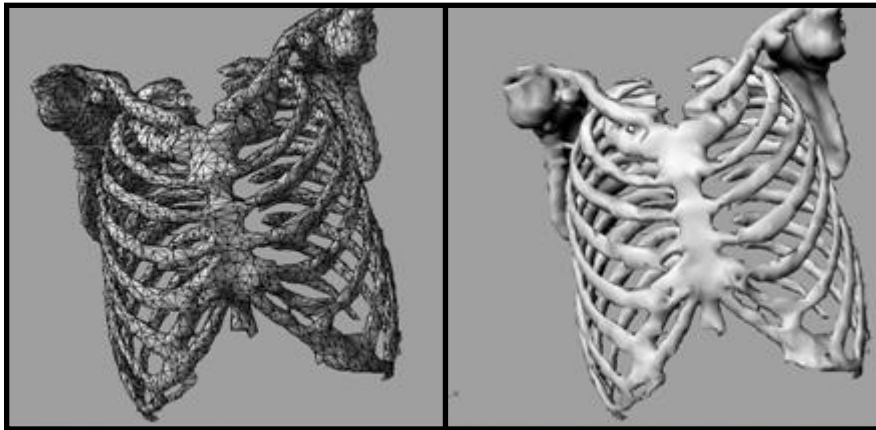
Efficacité de la mesure pulmonaire en fonction du temps



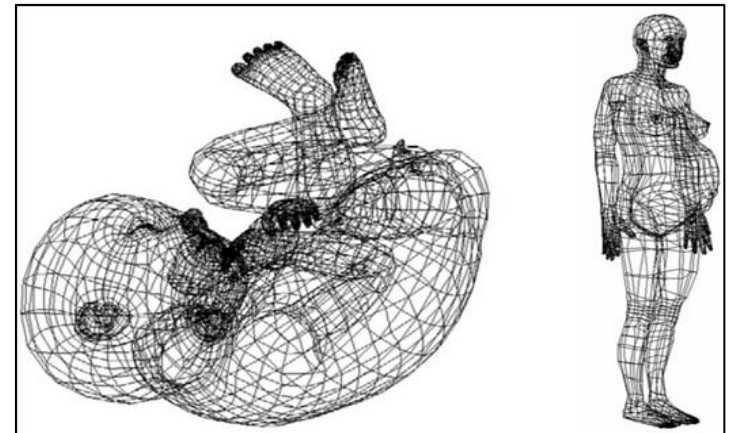
PERSPECTIVES

- Anthroporadiamétrie

- Développement de fantômes de type NURBS permettant de faire varier la morphologie
NURBS (Non-Uniform rational B-splines) : nouvelle génération de fantômes mathématiques où les surfaces sont définies par des courbes



Thèse J. Farah



Xu et al, Phys Med Biol, 2007

- Amélioration des temps de calcul (réduction de variance)

PERSPECTIVES

- Médecine nucléaire
 - Participation aux calculs de SAF pour les fantômes de référence de la CIPR
 - Dosimétrie à la moelle osseuse (fonctions de conversion de la fluence en dose)
 - ➔ Présentation E. Blanchardon et F. Paquet
"La CIPR: programme de travail 2007-2011 et GT DOCAL"
 - Prise en compte de la biocinétique des radiopharmaceutiques

Remerciements



Logiciel OEDIPE

Outil d'**E**valuation de la **D**ose **I**nterne **P**ersonnalisée

<http://www.oedipe-soft.org>

aurelie.desbree@irsn.fr