

The logo for IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) features the acronym 'IRSN' in a bold, sans-serif font. The letters 'I', 'R', and 'S' are red, while 'N' is blue. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect.

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

ÉVALUATION DE L'ACTIVITÉ INTERNE SUITE À DES CONTAMINATIONS DATANT DE 30 ANS : TRAITEMENT DES DONNÉES EXPÉRIMENTALES À L'AIDE DE FANTÔMES NUMÉRIQUES.

David Broggio ^a, Nikolay Borissov ^b, Joanna Janeczko ^{a, c}, Stéphanie Lamart ^a,
Eric Banchardon ^a, Andrey Molokanov ^{a, b}, Vladimir Yatsenko ^b & Didier Franck ^a

a) IRSN, Laboratoire d'Evaluation de la Dose Interne, (IRSN/DRPH/SDI/LEDI)
Fontenay-aux-Roses, France.

b) Federal Medical Biophysical Centre, Moscow, Russia

c) Université Paris XI, Master de Physique Médicale, Le Kremlin-Bicêtre, France.

Chronologie et Contexte de l'évaluation

- En 1963 (M. A) et 1964 (M. B) citoyens russes, sont victimes d'un accident conduisant à une plaie contaminée en ^{241}Am et Pu, à la main. Les plaies sont du type piqûre (faible diamètre, profondeur ~5 mm).
- Les deux travailleurs prennent de la pentacine de manière irrégulière.
- En 1979, une résection locale des tissus est réalisée pour M. B. alors que M. A. ne subit aucune intervention.
- Jusqu'en 1986 M. A et M. B travaillent dans un environnement où les contaminations U/Pu sont possibles.
- Les données radiotoxicologiques sont rares et difficiles à interpréter.
- En août 2006, dans le cadre d'une collaboration IBPh-IRSN, ces personnes sont venues à l'IRSN afin de réaliser des mesures et estimer les contaminations présentes

Problématique particulière

- Estimation classique de la contamination interne par mesure in vivo, basée sur l'étalonnage à l'aide de fantôme physique, **impossible**



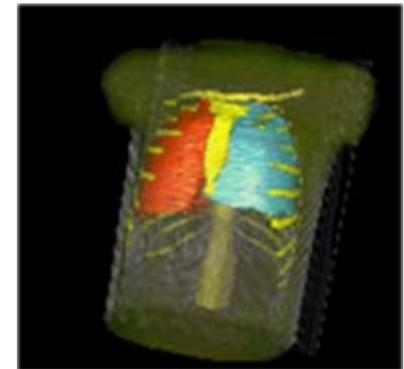
- Représentation grossière de la personne
- Pas de fantôme physique disponible simulant une répartition systémique et complexe de contamination



- Utilisation d'un modèle numérique (fantôme voxel)

Avantage :

- Utilisation de fantômes personnalisés
- Simulation de contaminations spécifiques



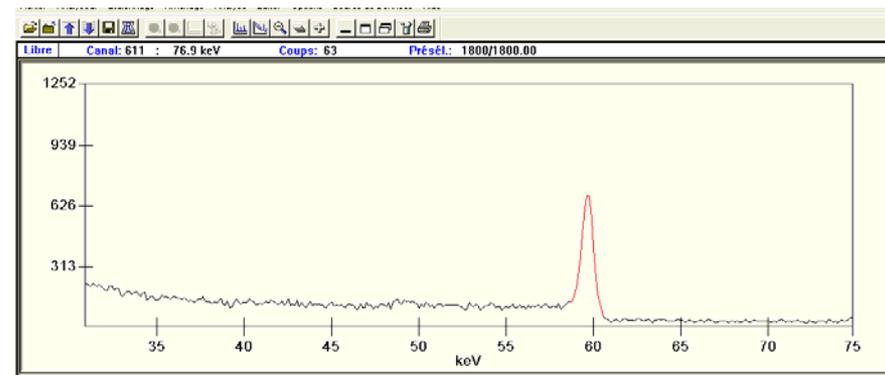
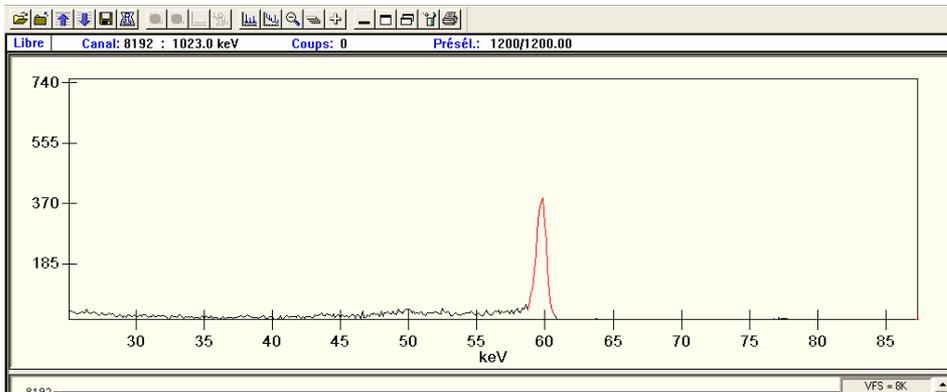
Problème : pour que ce calcul soit valable, il faut que la répartition d'activité simulée dans le fantôme voxel soit connue et corresponde à la réalité.

- Développement d'une méthode couplant les résultats des mesures anthroporadiométriques et les simulations Monte Carlo afin de déduire la répartition d'activité dans les organes.
- Utilisation si possible d'informations complémentaires : historique de la contamination et modèles biocinétiques permettant de connaître les organes de rétention : os, foie, nœuds lymphatiques axillaires (blessure), poumons ?

1. Mesures anthroporadiométriques au niveau du genou et du thorax à l'aide de 4 détecteurs Germanium Hyper Pur de l'Am-241
2. Construction des fantômes voxélisés du genou et du thorax de M. A. et M. B
3. Détermination des facteurs d'étalonnage de chaque détecteur pour chaque organe
4. Traitement des résultats de mesure à l'aide de facteurs d'étalonnage calculés permettant de déduire l'activité en ^{241}Am .

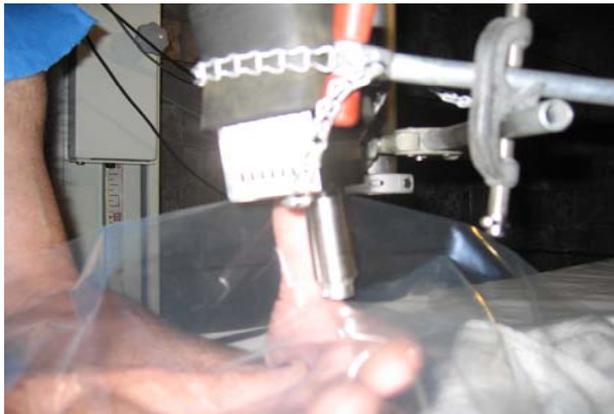
Mesures anthroporadiométriques (1)

- Mesure au niveau du genou et du thorax à l'aide de 4 détecteurs Germanium Hyper Pur (IRSN - Le Vésinet) de M. A.



Mesures anthroporadiamétriques (2)

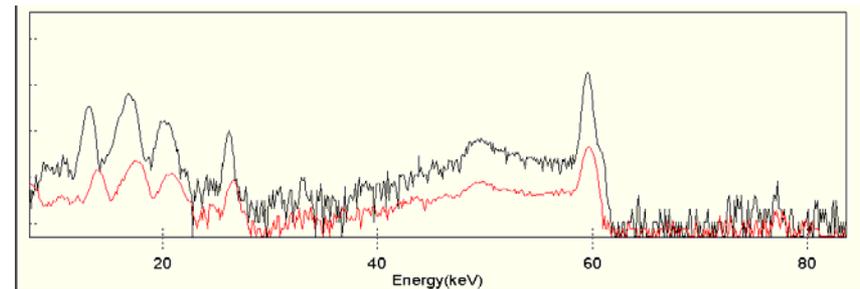
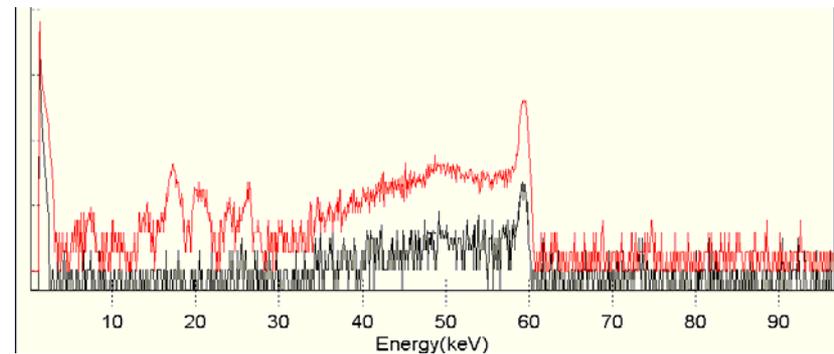
- Mesure au niveau des Ganglions Lymphatiques axillaire (GLA) et sur la main de M. A. (IRSN - FAR)



Aire du pic 60 keV

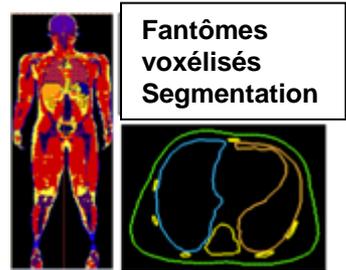
GLA Gauche : 3873 Cps

GLA Droit : 255 Cps

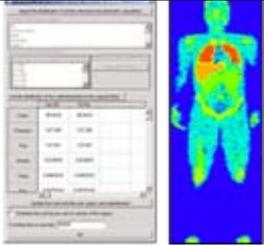


Construction des fantômes et calcul Monte Carlo

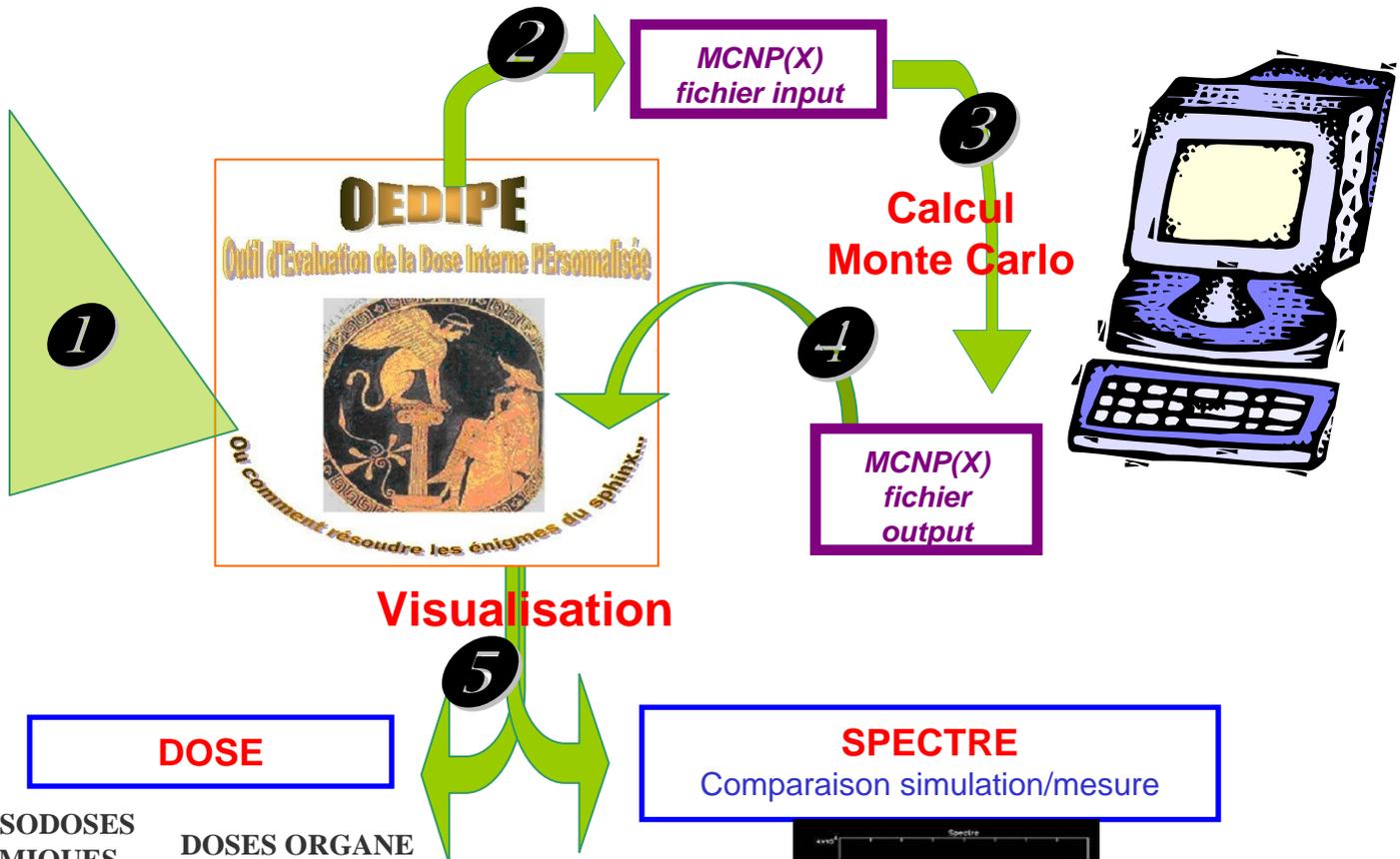
OEDIPE : Outil d'Evaluation de la Dose Interne PErsonalisée



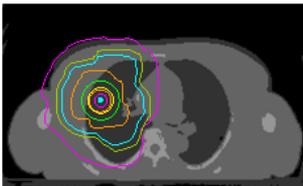
Distribution de la source



Positionnement Des détecteurs



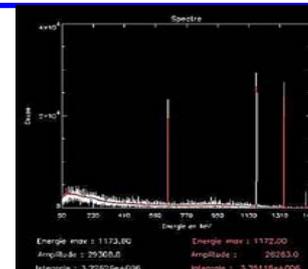
SUPERIMPOSITION DES ISODOSES ET DES IMAGES ANATOMIQUES



DOSES ORGANE

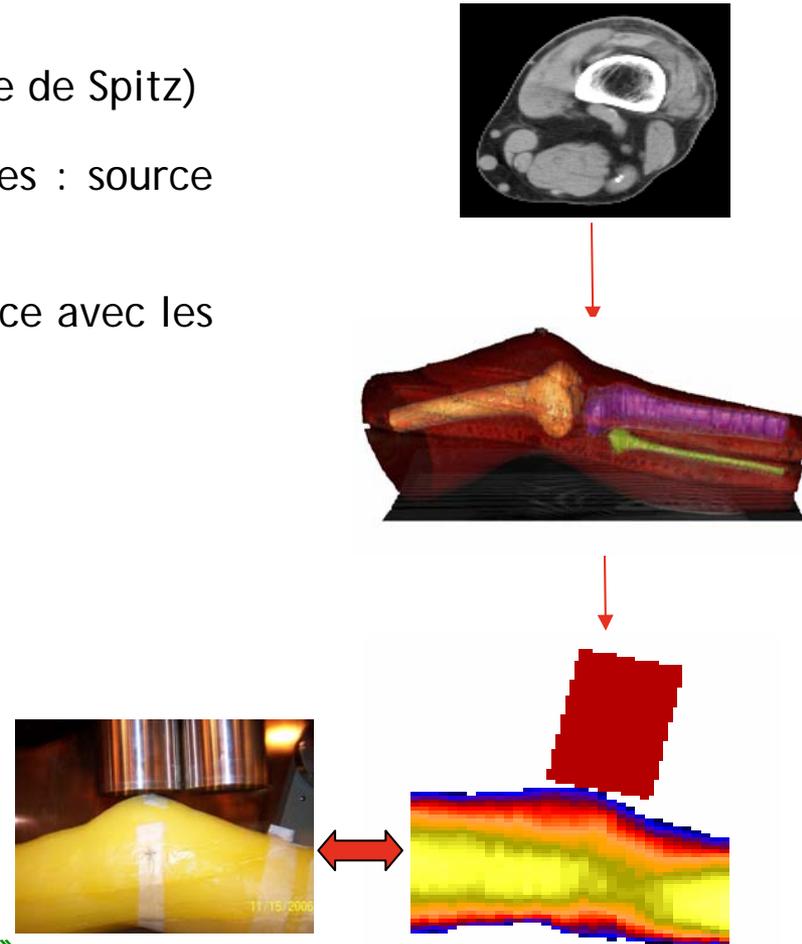
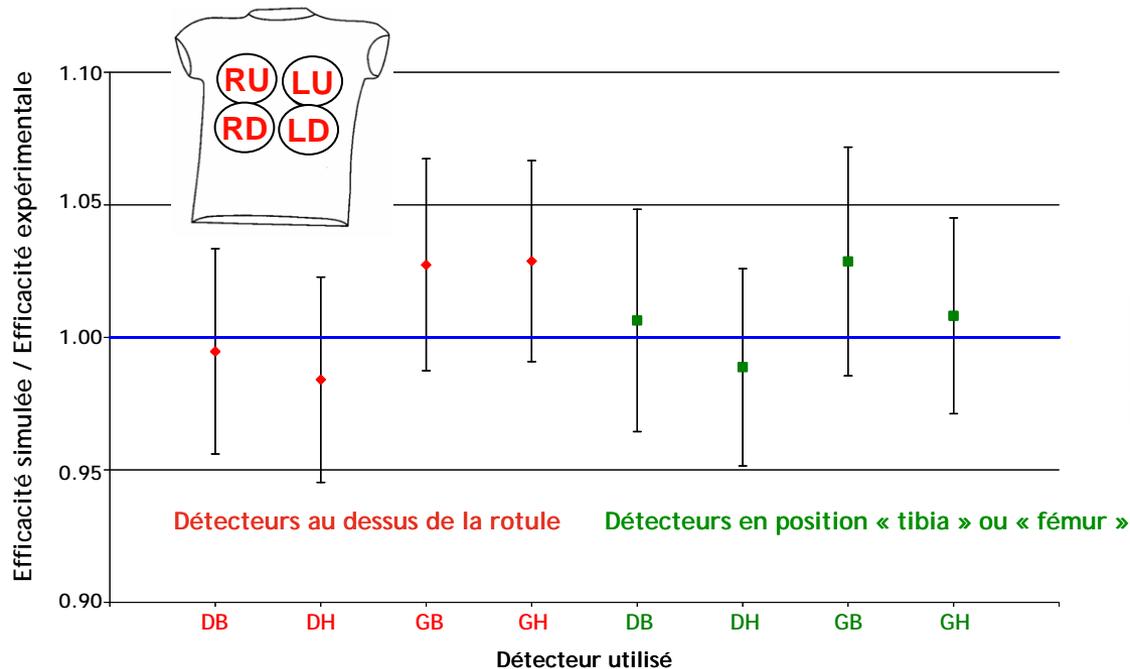
Doses par organes (mGy)	
Air	0.944878
Tissus_mous	: 3.98714
O _s	: 23.7325
Fermer	

SPECTRE
Comparaison simulation/mesure



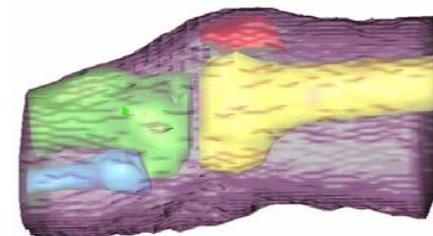
Modélisation et validation de l'installation

- Réalisation du fantôme voxélisé de genou (fantôme de Spitz)
- Réalisation de simulation avec des sources connues : source ponctuelle et fantôme chargé en ^{241}Am .
- Comparaison des résultats des mesures de référence avec les simulations



Evaluation de l'activité osseuse des travailleurs

- Création des fantômes voxélisés des genoux des travailleurs à partir des images CT
- Simulation des mesures en utilisant l'installation modélisée, pour estimer les efficacités des mesures osseuses
- Estimation des activités des travailleurs



Fantôme voxélisé de la partie « rotule » de la jambe du travailleur sous Isogray™

Contribution d'événements venant de la partie « rotule » = 98 %

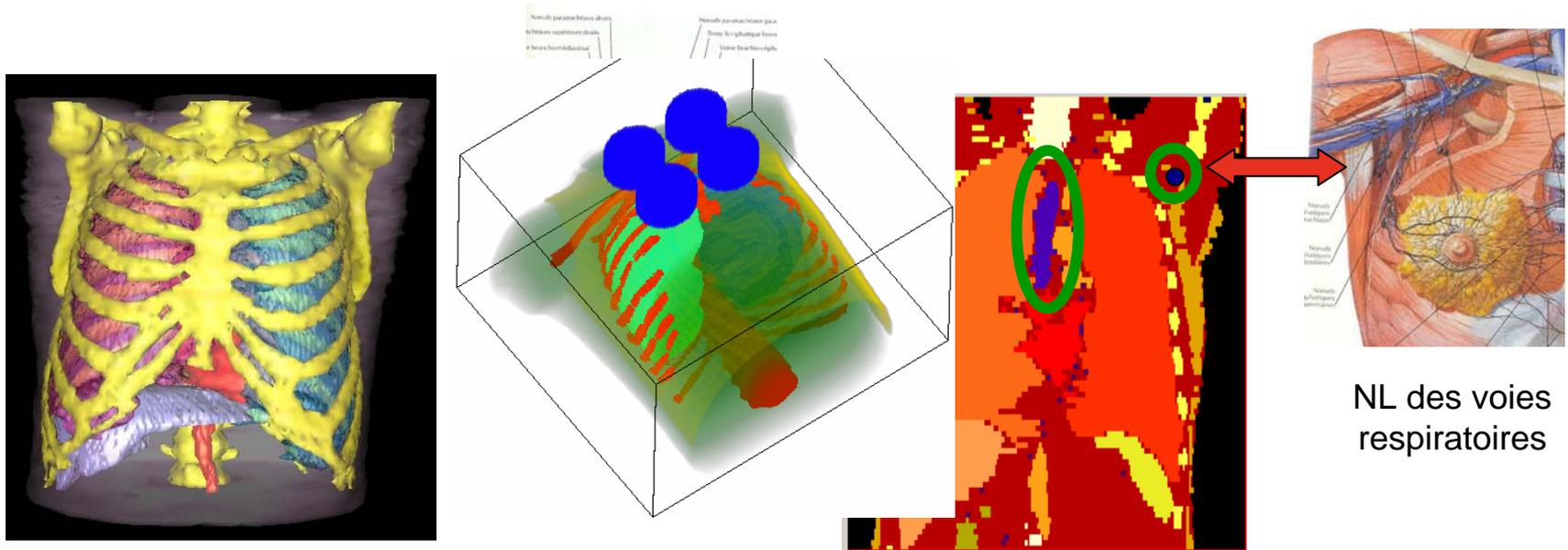
Pour M. A. l'activité moyenne calculée au niveau de l'os est de 0,27 Bq/g (23%)

Pour M. B. l'activité moyenne calculée au niveau de l'os est de 0.04 Bq/g (20%)

Évaluation de l'activité des organes internes (1)

Réalisation des fantômes thoraciques et des efficacités calculées

- Construction du fantôme voxel de thorax grâce aux images CT.
- Segmentation des organes de rétention pour Am/Pu : foie, poumons, os, noeuds lymphatiques axillaires ou thoraciques
- Les activités en ^{241}Am étant placées dans les différents organes segmentés le calcul des efficacités de référence pour chaque organe et pour chaque détecteur



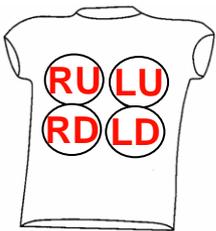
Évaluation de l'activité des organes internes (2)

Méthode de calcul

- On peut définir le taux de comptage dû à la contribution des différents organes dans chaque détecteur par :

$$\tau_{\text{exp}} = \sum_{\text{organe}} \tau^{\text{organe}} = I_i \times \sum_{\text{organe}} A^{\text{organe}} \times \epsilon^{\text{organe, position}}$$

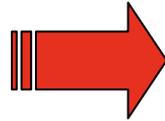
- En prenant en compte les 4 détecteurs, la séparation des contributions de chaque organe est possible, en résolvant le système suivant :



		Taux de comptage	Efficacités calculées				Activités cherchées
			Os	Nœuds lymphatiques	Poumons	Foie	
Détecteur	RD	→ (5,87E-01)	8,56E-04	6,79E-05	2,06E-03	1,36E-03	$\times \begin{pmatrix} Act_{Os} \\ Act_{Noeuds\ Lymph.} \\ Act_{Poumons} \\ Act_{Foie} \end{pmatrix}$
	RU	→ 6,80E-01	....	....	...	...
	LD	→ 3,29E-01	....	....	$\epsilon^{\text{Lung, LD}}$...	
	LU	→ (6,87E-01)	....	....	...	...

Activité des organes internes

- Compte tenu des informations disponibles différents scénarios plausibles ont été appliqués compte nu des mesures réalisées et des informations
- La meilleur solution au sens du du système matriciel au sens du χ^2 a été choisi



M. A.

Os ~ 1 300 Bq thoracique, (0.27 Bq/g)
Foie ~ 410 – 460 Bq
Tous les noeuds lymph ~ 110 - 630 Bq
NL axillaire ~ 350 Bq (plus raisonnable)
Poumons ~ 0 Bq

M. B.

Os ~ 160 Bq thoracique, (0.04 Bq/g)
Foie ~ 90 Bq
NL axillaires ~ 300 Bq
NL voie respiratoire ~ 80 Bq
Poumons ~ 0 Bq

Conclusion (1)

- Par l'intermédiaire de l'étude de 2 travailleurs russes, retraités de l'industrie nucléaire, une méthode originale a été mise au point afin d'évaluer la contamination interne suite à une blessure ancienne, contaminée aux actinides.
- La méthode décrite utilise des mesures in vivo spécifique ainsi que le calcul Monte Carlo et les fantômes voxel afin d'obtenir des efficacités de comptages qui sont utilisées pour établir l'origine des événements enregistrés.
- Pour les 2 personnes l'activité interne en ^{241}Am a été évaluée au niveau des os, du poumon, des ganglions et du foie.
- Cette méthode ouvre la voie vers la possibilité d'estimations plus précises de contaminations complexes dans lesquels les outils classiques sont limités.

- Meilleures estimations des erreurs
 - Etude du conditionnement du système d'équation
 - Obtention des intervalles de confiance

- Amélioration de la détermination de la cartographie d'activité
 - Mesures plus spécifiques
 - Meilleur modèle pour les noeuds lymphatiques

- Comment traiter les autres radionucléides ?

Merci de votre attention