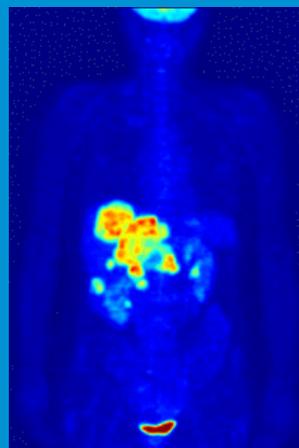


Optimisation de la radioprotection des patients de médecine nucléaire : Évaluation des doses pour les nouveaux fantômes voxélisés de référence de la CIPR



L.Hadid¹, A.Desbrée¹, H.Schlattl², N. Grandgirard¹, E.Blanchardon¹, L.Makovicka³ and M.Zankl²

¹IRSN, Institut de radioprotection et de sureté nucléaire, Fontenay-aux-roses, France

²HMGU, HelmholtzZentrum Munchen, German center for environmental health, Neuherberg, Allemagne

³Institut FEMTO-ST UMR 6174 CNRS, Université de Franche-Comté, Montbéliard, France.

SOMMAIRE

- Contexte: Dosimétrie en médecine nucléaire
- Problématique/Limitations
- Axes d'amélioration
- Matériels et méthodes
- Résultats
 - Calcul de SAF
 - Calcul des doses suite à l'incorporation de radiopharmaceutiques
- Conclusions

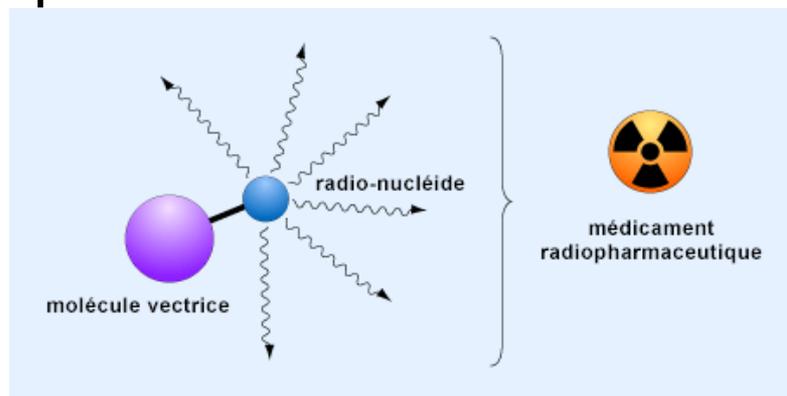
IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

CONTEXTE

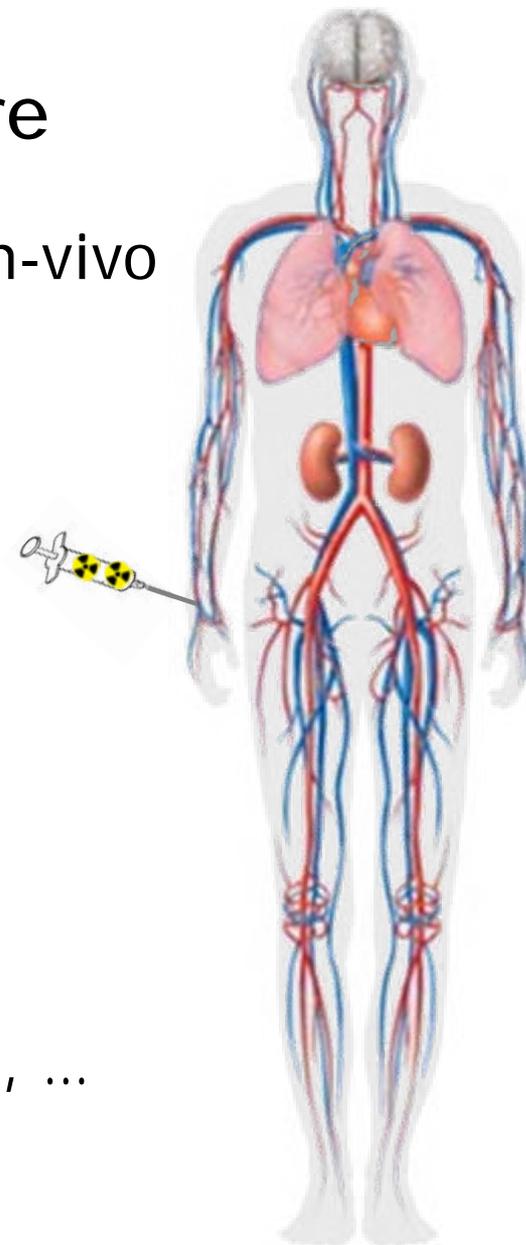
Principe de la médecine nucléaire

Administration d'un radiopharmaceutique in-vivo au patient à des fins diagnostiques ou thérapeutiques



Vecteur

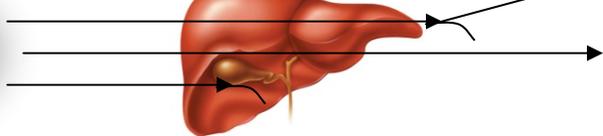
Peptide, anticorps, analogue métabolique, ...



Les émetteurs

Gamma

Quelques mm



Imagerie monophotonique (TEMP)

IMAGERIE

Imagerie par tomographie
par émissions de positons (TEP)



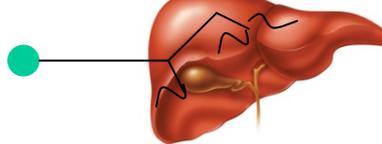
Faibles
Irradiations

Bêta +

Et

Bêta -

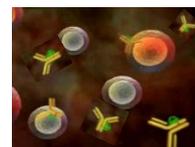
Quelques mm



Radiothérapie
métabolique



Radioimmunothérapie



Fortes
Irradiations

THERAPIE

Radioprotection du patient : Dosimétrie réaliste et précise

Dose absorbée

Formalisme du MIRD

$$\overline{D}_{r_k} = \sum_{r_h} \tilde{A}_{r_h} \times \sum_i n_i E_i \text{SAF}(r_k \leftarrow r_h)$$



Aspect biocinétique

Données physiques tabulées



Aspect géométrique

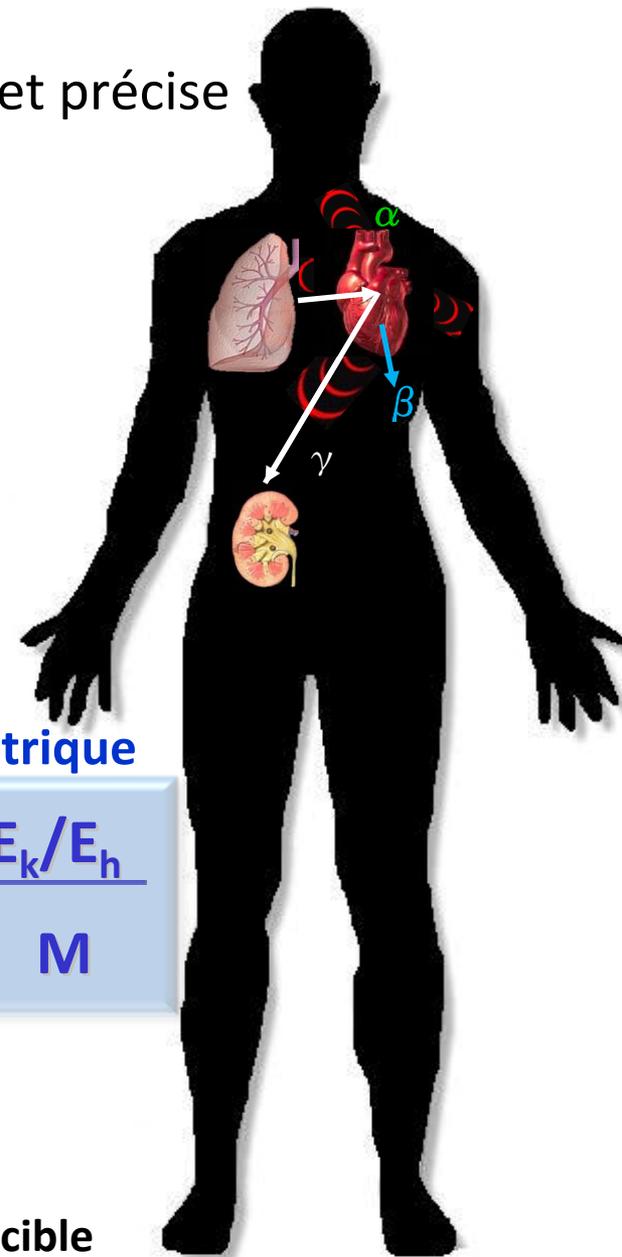
$$\text{SAF}(r_k \leftarrow r_h) = \frac{E_k/E_h}{M}$$

\tilde{A} : Activité cumulée au cours du temps

n : Nombre d'irradiations émises par transition nucléaire

E : Energie de l'irradiation émise

SAF : Fraction massique de l'énergie absorbée dans l'organe cible

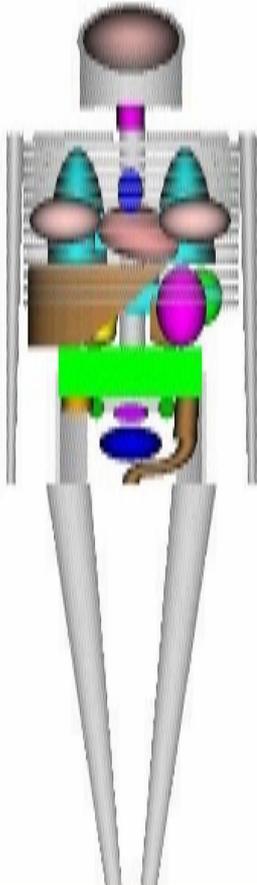


Limitations

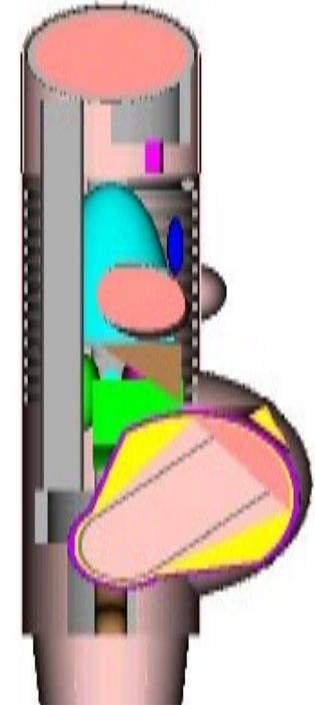
1. SAFs tabulés pour des géométries standards plus ou moins réalistes

Fantômes mathématiques

- Organes localisés tout près de la peau: foie, estomac
- Circonférence du tronc trop elliptique (plate)
- Diamètre du tronc constant depuis le cou jusqu'au fond du tronc



MIRD

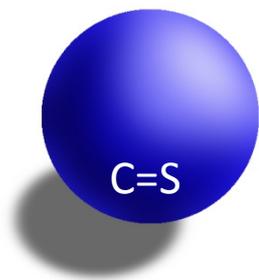


Femme enceinte

Limitations

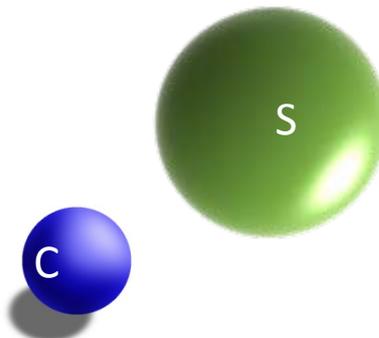
2. Hypothèses approximatives pour le calcul des SAFs pour les électrons

Région cible = région source



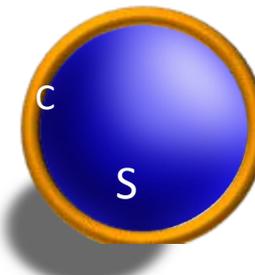
$$SAF(C \leftarrow S) = \frac{1}{masse_{source}}$$

Région cible \neq région source



$$SAF(C \leftarrow S) = 0$$

Région source pourvue de paroi



$$SAF(C \leftarrow S) = \frac{1}{2 * masse_{source}}$$

Effet de la prise en compte du parcours des électrons??

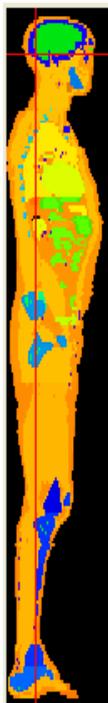
Nouveaux fantômes adultes voxélisés de référence (ICRP/ICRU)

- Développés par le HelmholtzZentrum Munchen (Allemagne)
- Publiés dans la CIPR 110

Fantôme homme de référence



Vue frontale



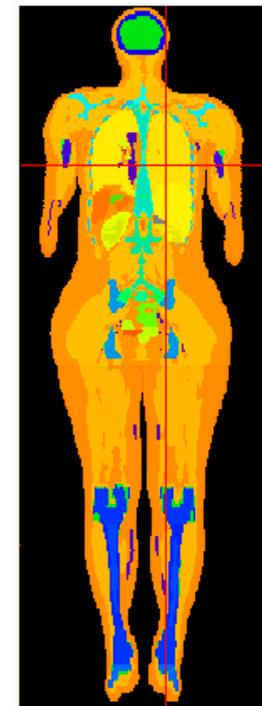
Vue sagittale

176 cm, 73 kg
1.9 millions de voxels
Taille du voxel: 36.5 mm³

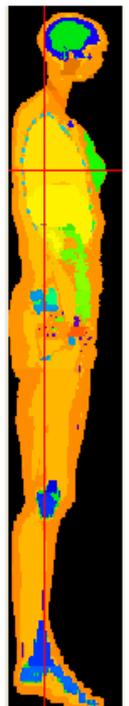
Dimensions et densités de 140 organes et
tissus ajustées aux valeurs de
« l'homme de référence »
de la CIPR 89

163 cm, 60 kg
3.9 millions de voxels
Taille du voxel: 15.2 mm³

Fantôme femme de référence



Vue frontale



Vue sagittale

Validation des SAFs pour les nouveaux fantômes de références de la CIPR à l'aide des méthodes de calcul Monte Carlo

IRSN (France)

IRSN

MCNPX

HelmholtzZentrum Munchen
HMGU (Allemagne)

HelmholtzZentrum münchen

Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt

M.Zankl, H.Schlattl

EGSncr

Intercomparaison

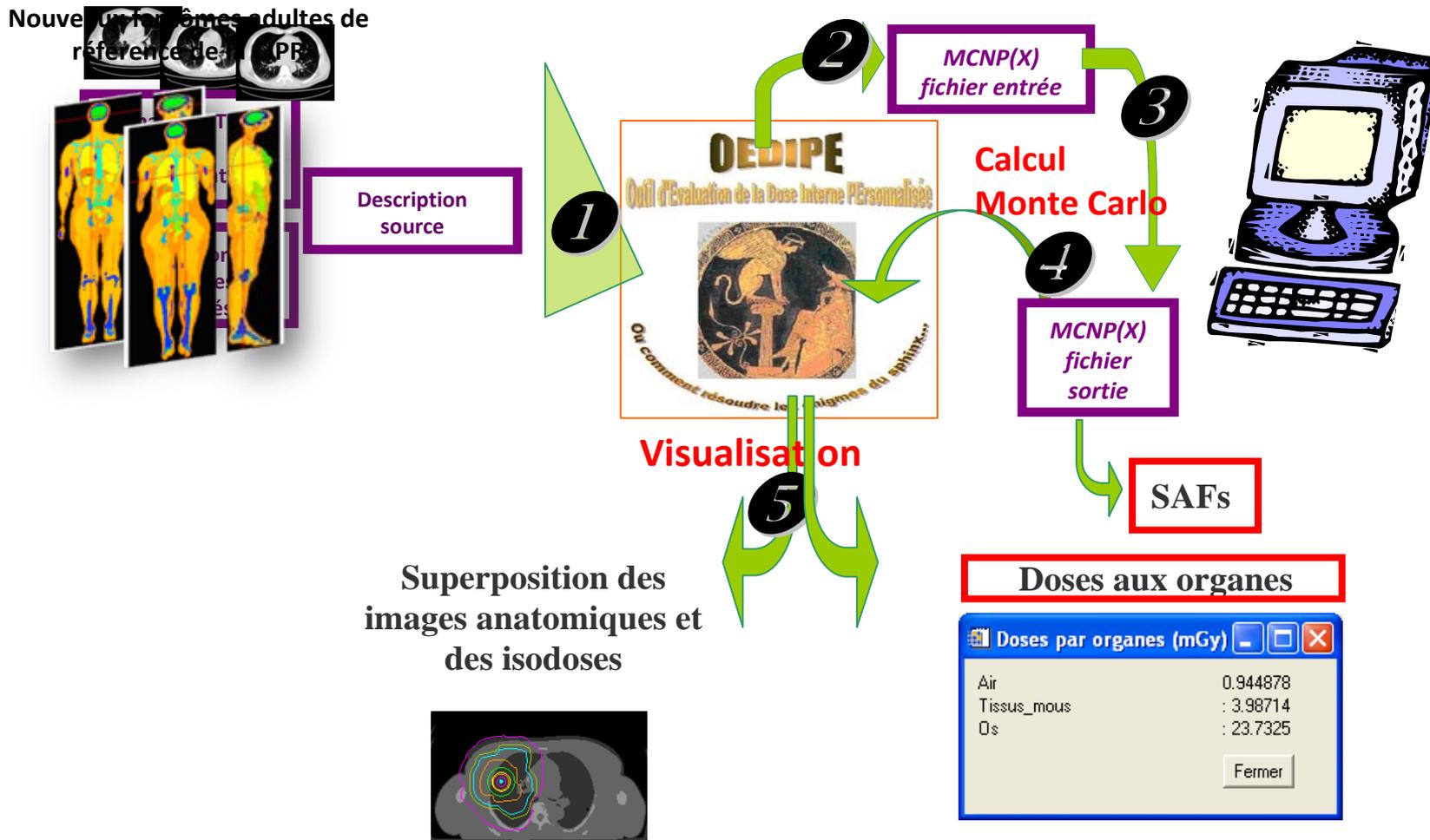
IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

MATERIELS ET METHODES

Le logiciel OEDIPE

Outil d'Evaluation de la Dose Interne PErsonnalisée

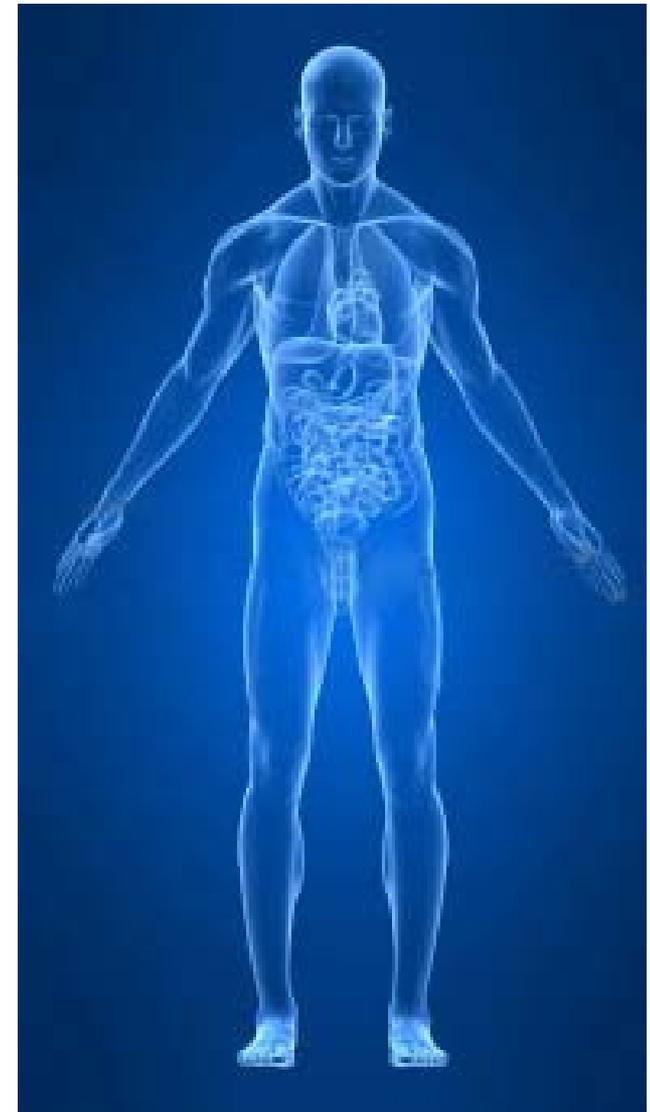


Comparaison des SAFs

- Particules:** * Photons + Electrons
- Energie:** * $10 \text{ keV} < E < 10 \text{ MeV}$
(suivi des électrons secondaires)
- Nombre d'histoires:** * 5 millions de particules

Tissus choisis pour les calculs Monte Carlo

- Organes sources:** * Thyroïde
* Poumons
* Foie
- Organes cibles:** * Poumons
* Seins
* Paroi du colon
* Paroi de l'estomac



IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

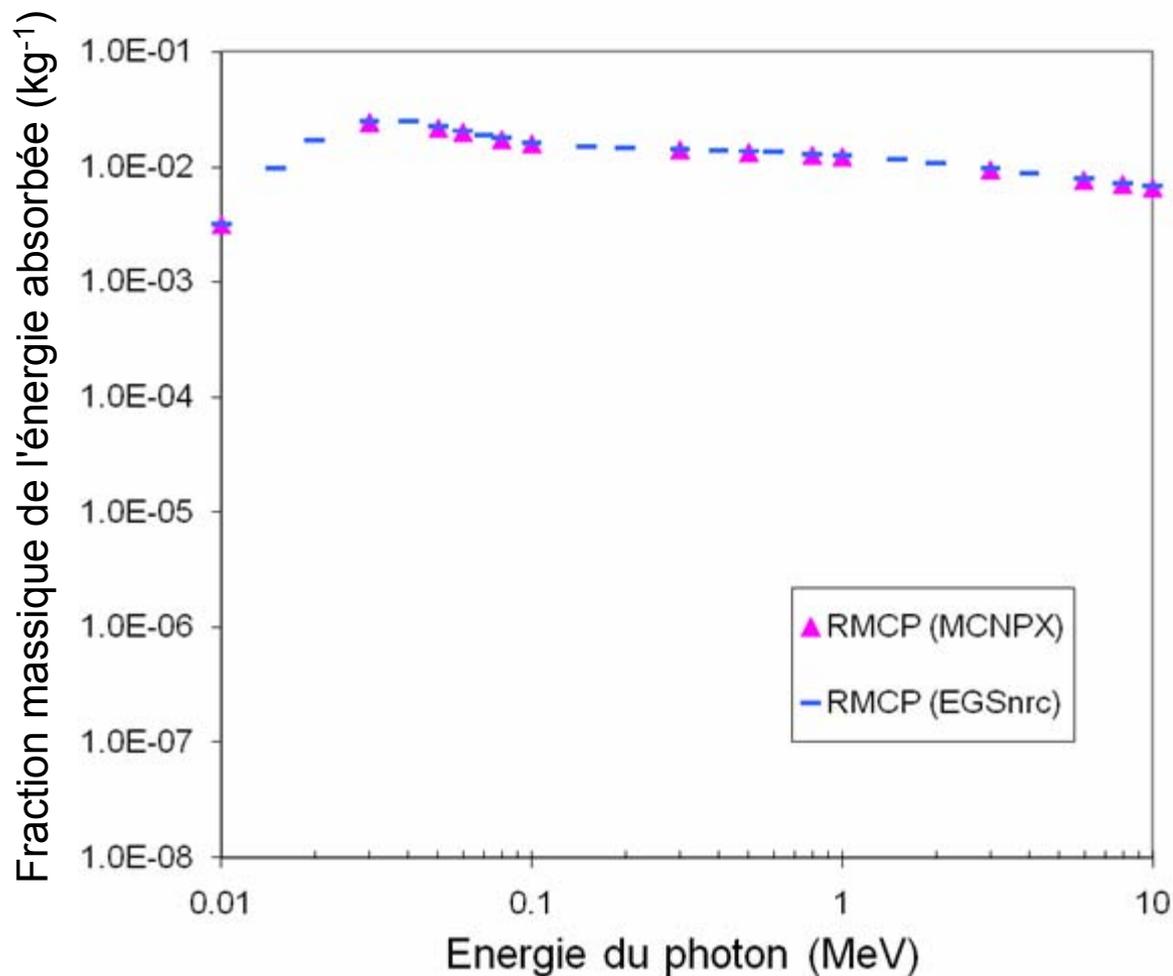
RESULTATS

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Calcul des SAFs

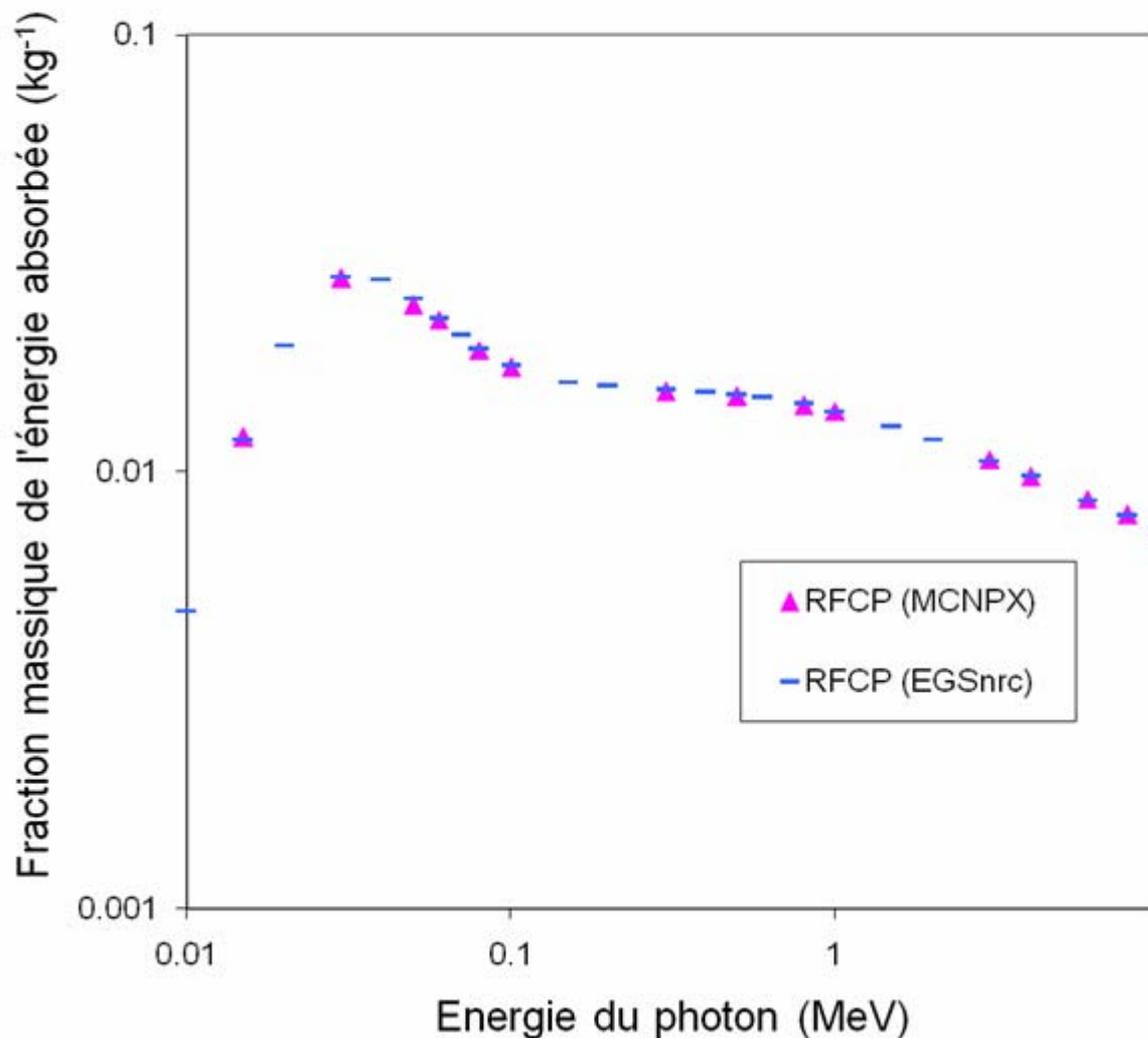
PHOTONS, SAF (Poumons <- Foie), Homme



Rapport

0,99 < EGSnrc/MCNPX < 1,02

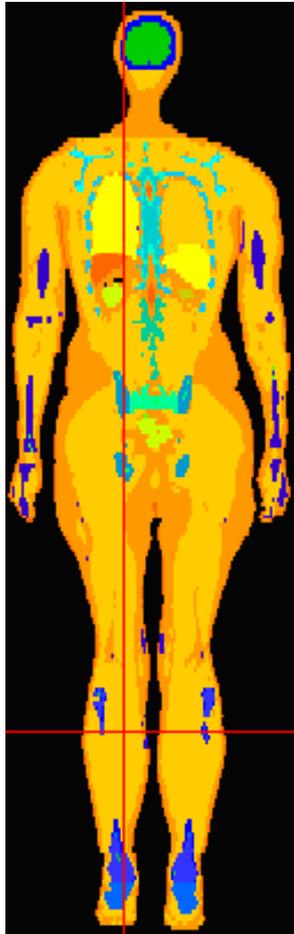
PHOTONS, SAF (Poumons <- Foie), Femme



Rapport

$0,99 < \text{EGSnrc}/\text{MCNPX} < 1,04$

Comparaison des SAFs pour les photons



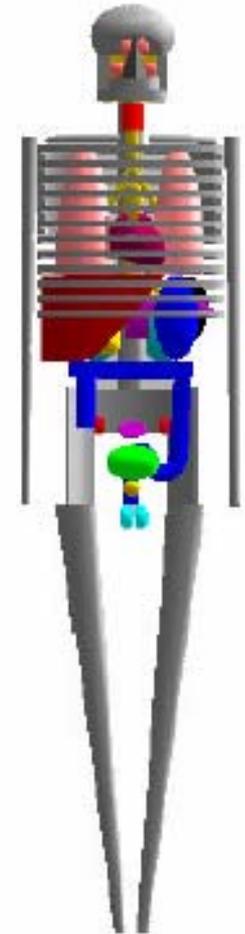
Fantômes
voxélisés

EGSnrc

MCNPX

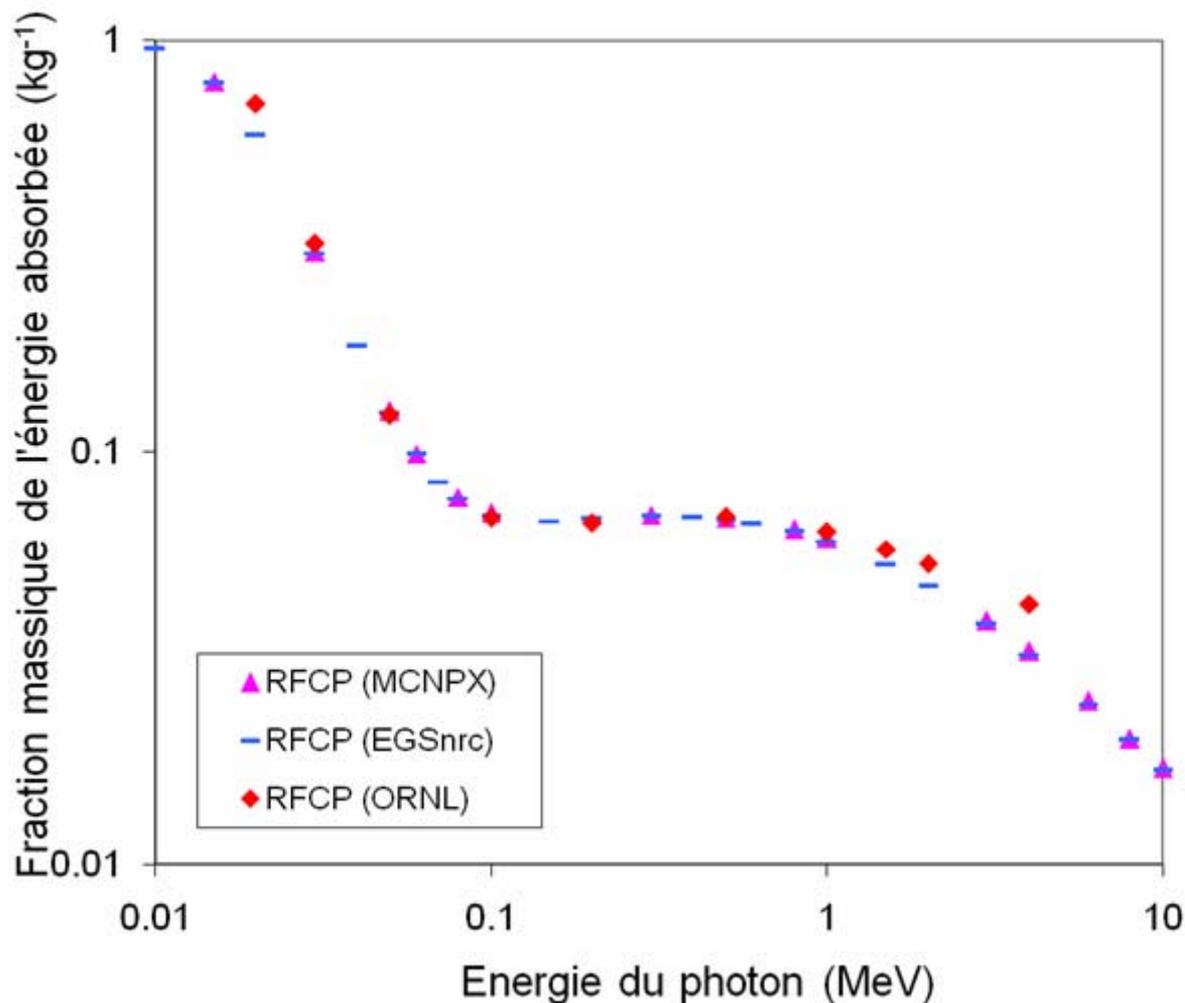
Fantômes
mathématiques

ORNL



Comparaison entre les fantômes voxélisés et ORNL

PHOTONS, SAF (poumons <- Poumons), Femme



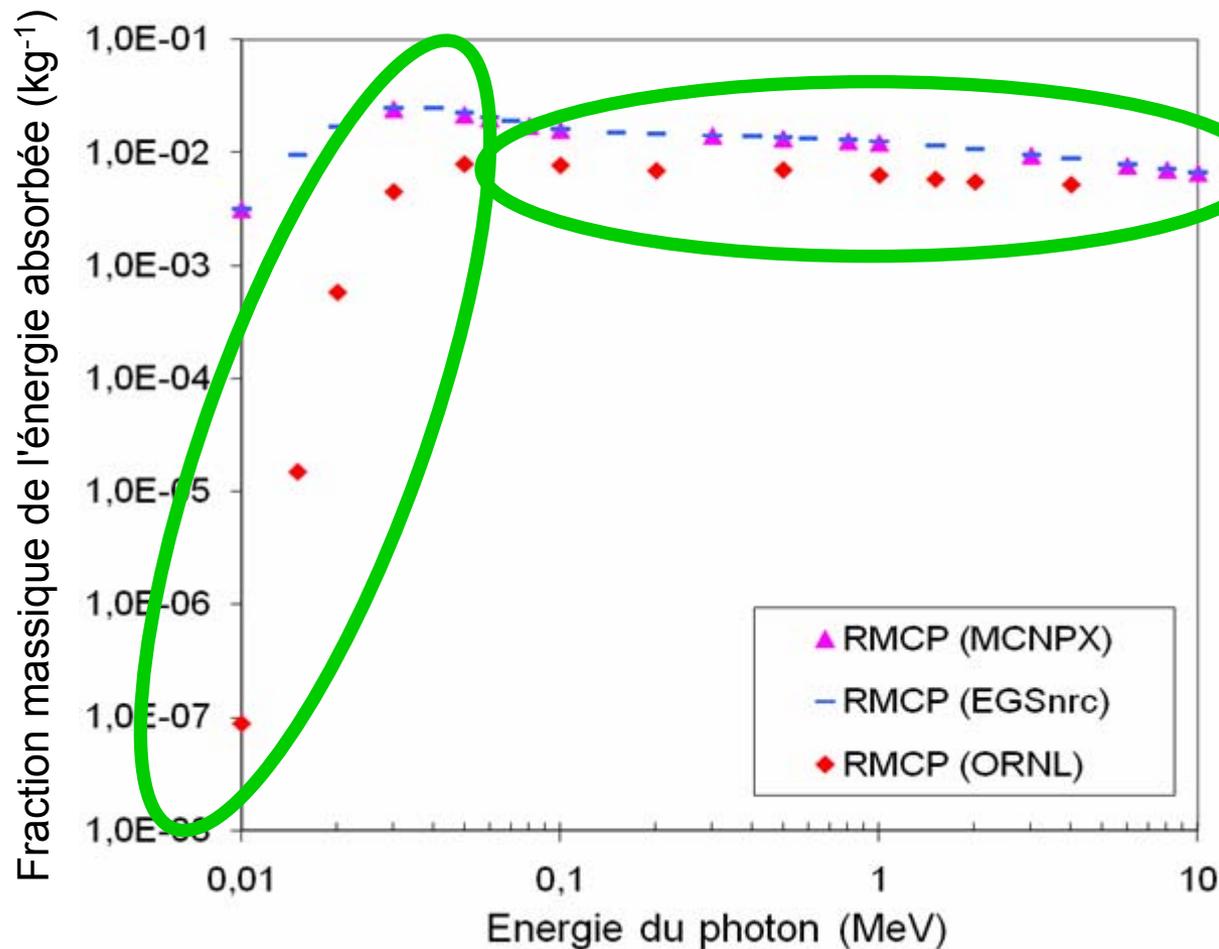
Rapport
0,97 < Voxélisés/ORNL < 1,32

Autoabsorption

**Pas d'influence de la
 géométrie des fantômes
 sur les SAFs**

Comparaison entre les fantômes voxélisés et ORNL

PHOTONS, SAF (poumons <- Foie), Homme



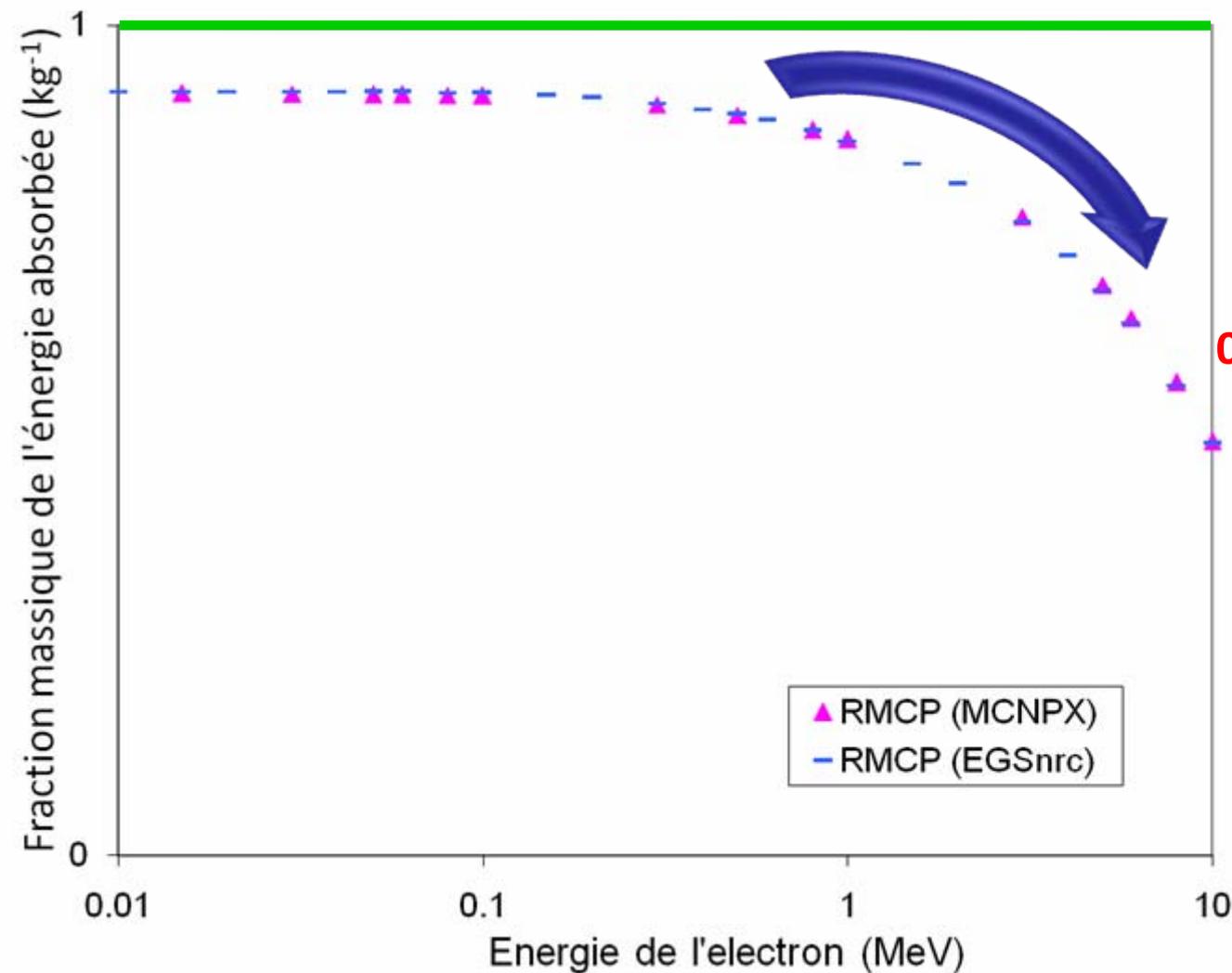
Faibles énergies
rapport
Voxélisés/ORNL → 25

Différentes géométries et
distances entre les
organes

Hautes énergies
Rapport
Voxélisés/ORNL → 1,5

Peu d'influence de la
géométrie sur les
SAFs

ELECTRONS, SAF (Poumons <- Poumons), Homme



← Approximations antérieures

$$SAF(\text{Poumons} \leftarrow \text{Poumons}) = \frac{1}{m_{\text{Poumons}}}$$

$$m_{\text{Poumons}} = 1 \text{ kg}$$

Rapport

$$0,99 < \text{EGSnrc/MCNPX} < 1,01$$

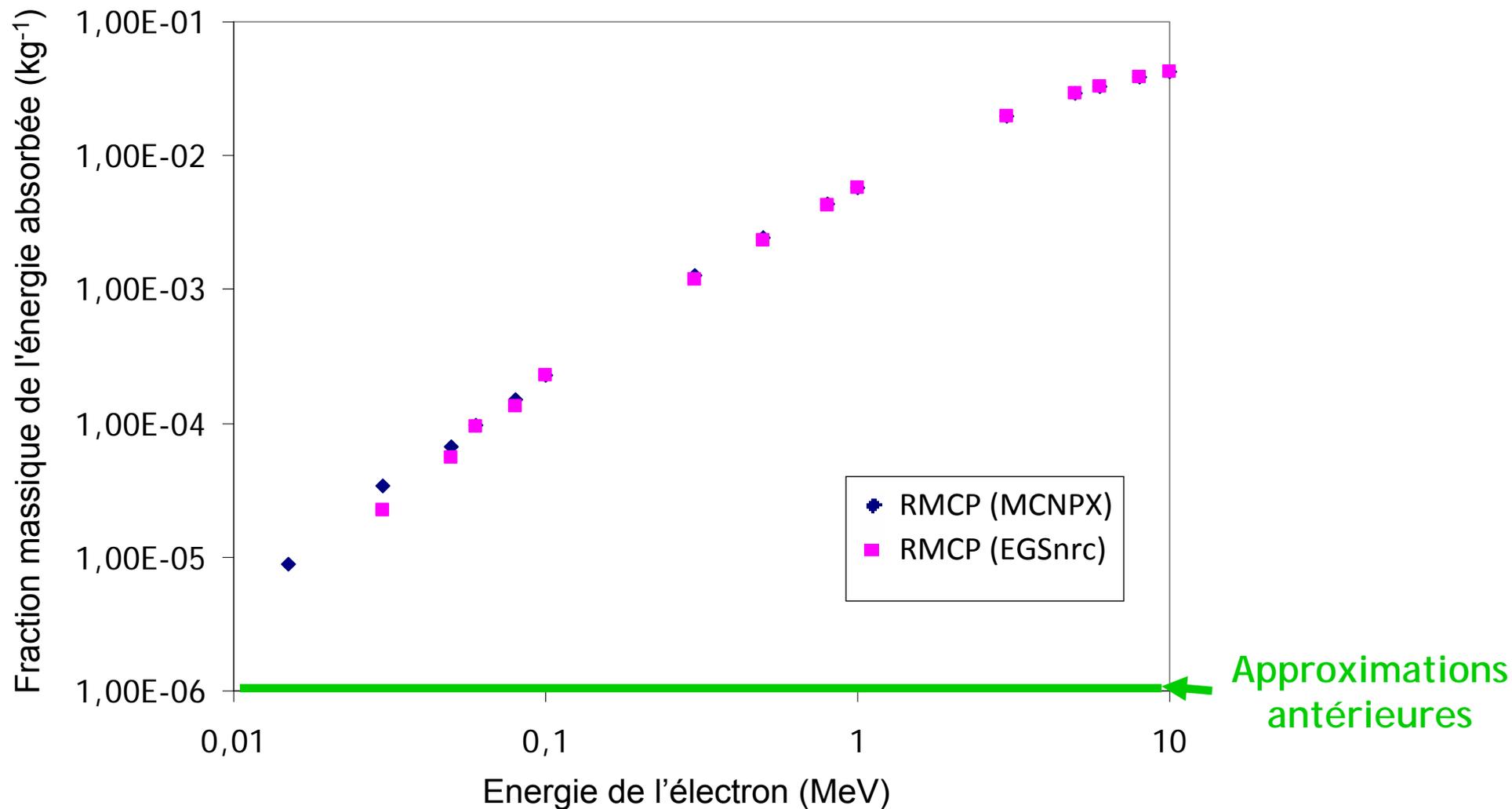
Faibles énergies :

$$SAF \longrightarrow 1$$

Hautes énergies:

Fuite d'électron

ELECTRONS, SAF (Paroi de l'estomac <- Foie), Homme



Comparaison entre MCNPX et EGSnrc

Bon accord (<8%) entre les SAFs calculés avec MCNPX et EGSnrc pour photons et les électrons d'énergie > 500keV

Différences plus importantes pour les électrons d'énergie inférieure à 500 keV

Raisons: Incertitudes statistiques élevées aux faibles énergies
Différentes physiques utilisées par les deux codes

SAFs PHOTONS

Comparaison entre les fantômes voxélisés et ORNL

- **Auto absorption:** peu de \neq avec les SAFs basés sur les fantômes MIRD
- **Organes avec paroi:** Peu de \neq
- **Tirs croisés:** Pour plusieurs paires d'organes, les SAFs calculés pour les fantômes voxélisés sont supérieurs à ceux évalués pour les fantômes MIRD (la distance entre les organes est plus grande pour les fantômes MIRD que dans la réalité)

SAFs ELECTRONS

Comparaison entre approximations et Calcul MC

- **Auto-absorption** : Fuite d'électron importante aux hautes énergies en particulier pour les petits organes
- **Organes avec paroi**: Transfert d'énergie du contenu à la paroi d'un organe est plus faible avec les approximations
- **Tirs croisés** :
 - SAFs ayant des valeurs non nulles même pour les faibles énergies
 - SAFs électrons atteignent le même ordre de grandeur que les SAFs photons pour des organes voisins à partir de 300 keV

Publication 110 de la CIPR

Prochaine publication SAF pour tous les couples organes sources/cibles

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

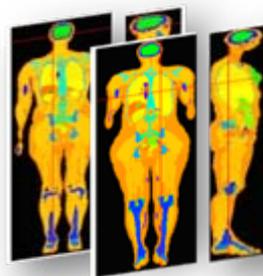
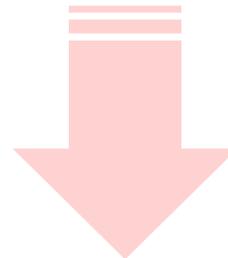
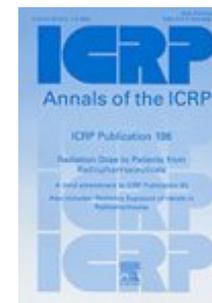
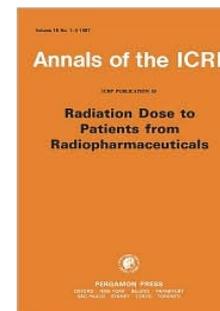
Calcul de Doses absorbées

OEDIPE

Outil d'Évaluation de la Dose Interne Personnalisée

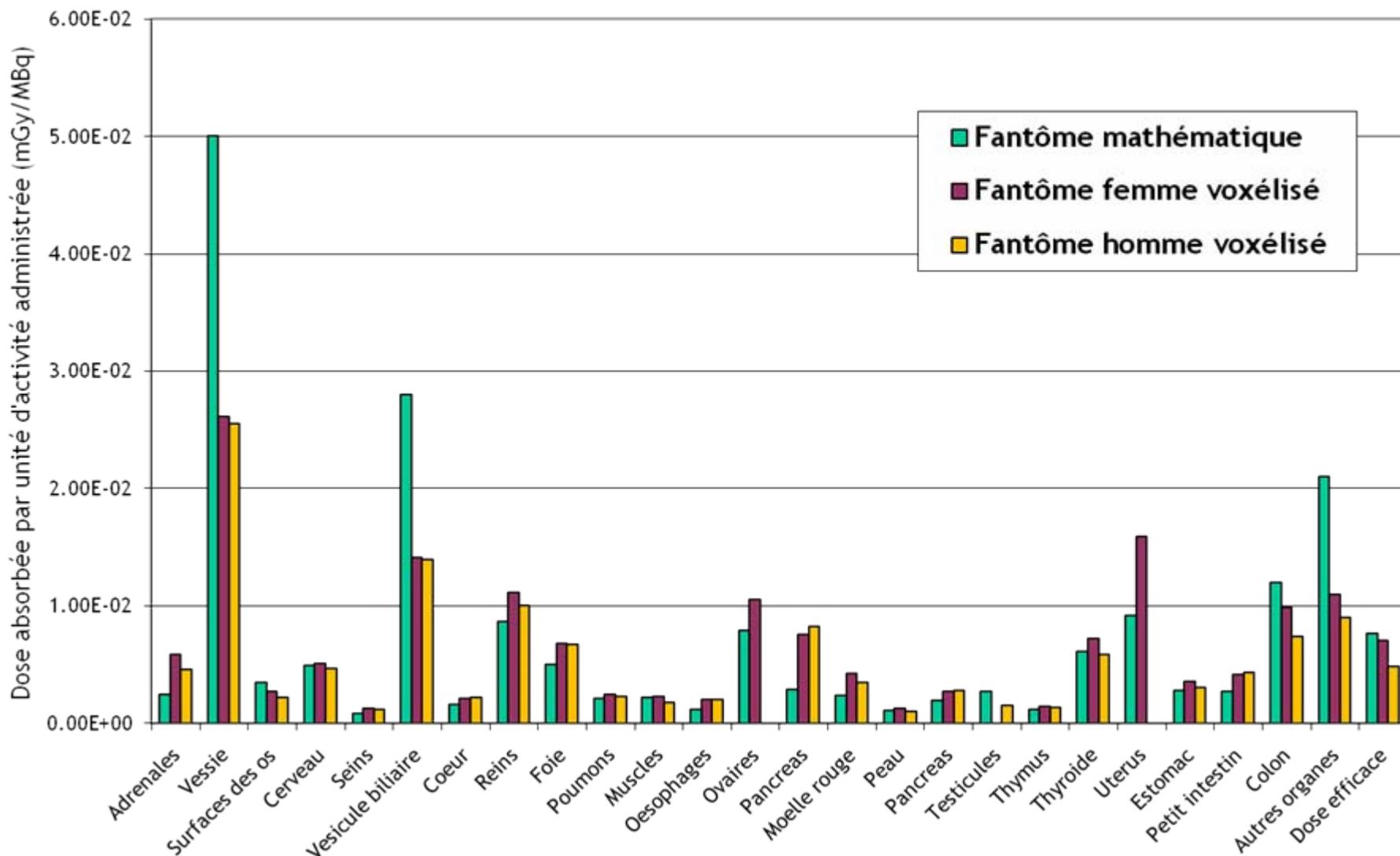


Ou comment résoudre les énigmes du sphinx...

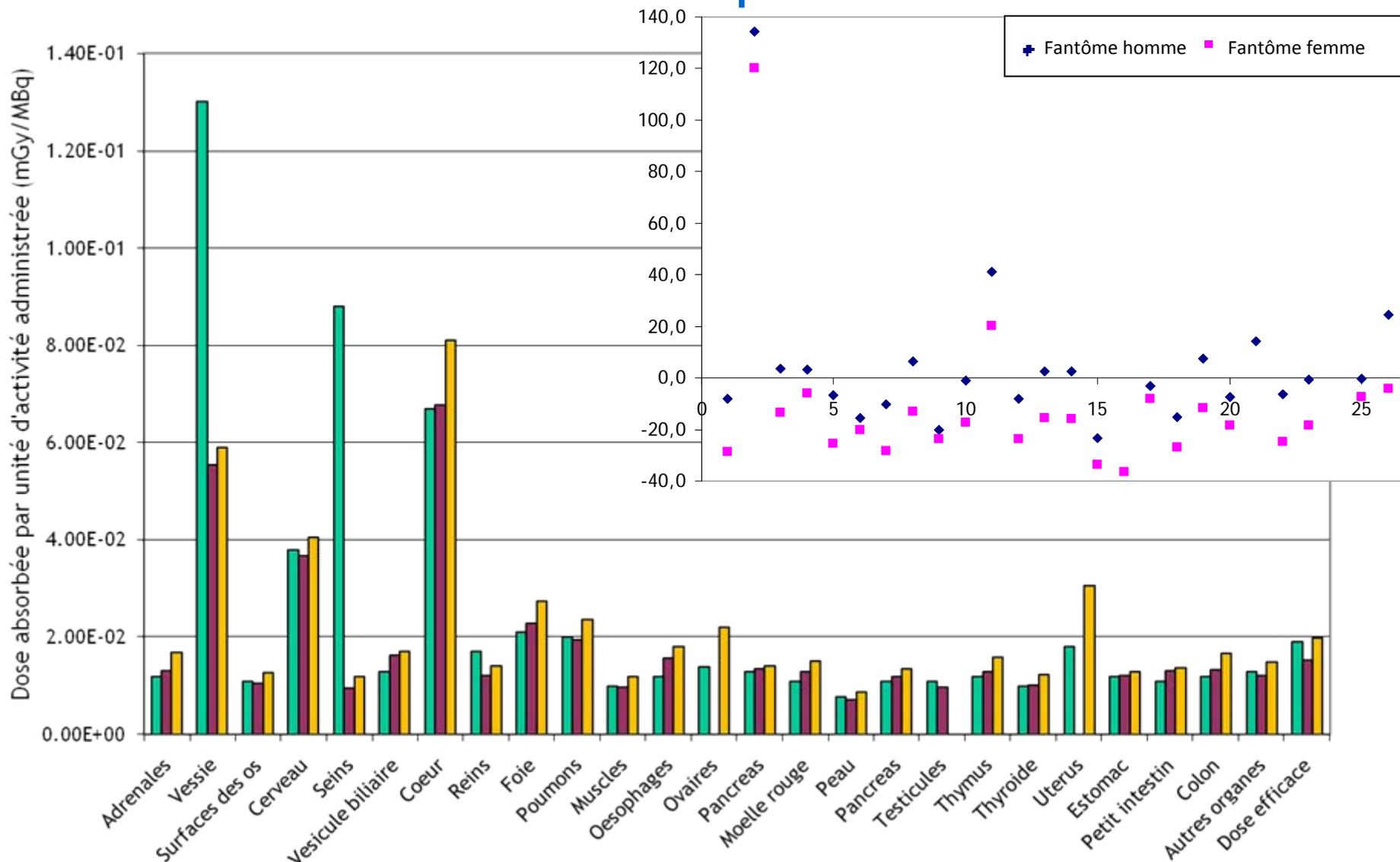
MCNPX**Fantômes voxélisés
de référence****Biocinétiques des
radiopharmaceutiques**
(CIPR 53 + CIPR 80 + CIPR 106)

**Doses absorbées pour 13
radiopharmaceutiques couramment utilisés en
médecine nucléaire.**

Doses absorbées pour le ^{99m}Tc -ECD



Doses absorbées pour le ^{18}F -FDG



Doses absorbées

Fantômes voxélisés versus mathématiques

⌘ Différences importantes pour quelques organes:

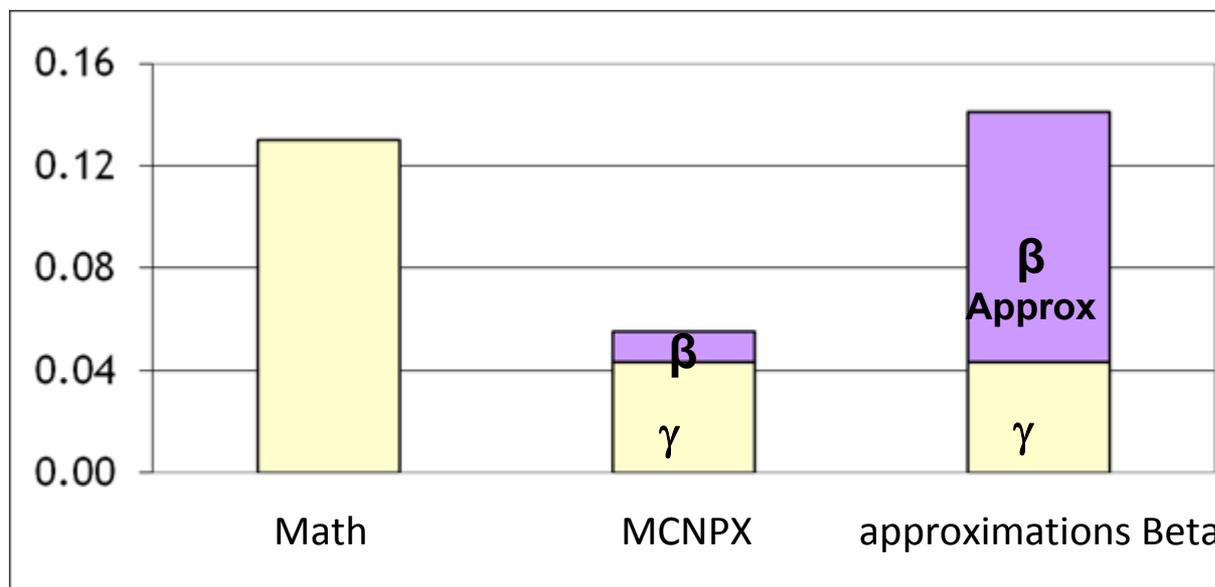
Paroi de la vessie, coeur, vésicule biliaire, ...

⌘ Raisons :

- **Géométriques**: Masses et distances entre les organes

Différentes modélisations du système gastro-intestinal

- **Physiques**: Approximations précédemment utilisées pour les é



Validation des SAFs

+

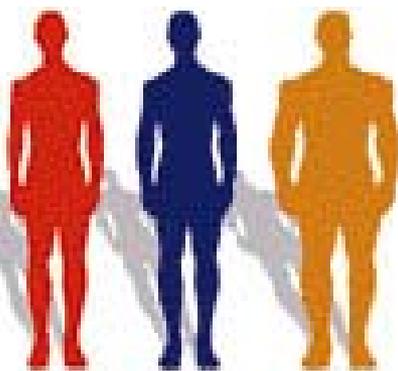
Calcul des doses absorbées

Fantômes de référence de la CIPR

STANDARDS

PERSPECTIVES

Influence de la MORPHOLOGIE sur le calcul de dose



- Evaluation des doses pour différents fantômes
- Evaluation des doses pour différents radiopharma

Collaboration avec l'institut Curie Paris (N. Pierrat)

Merci!