

APPLICATION DES FANTOMES VOXELISES POUR LA RECONSTITUTION DOSIMETRIQUE D'ACCIDENT RADIOLOGIQUE.

**Angélique Lemosquet, Isabelle Clairand, Loïc de Carlan, Isabelle Aubineau-Lanièce,
Jean-Baptiste Rioual, Jean-François Bottollier-Depois, Didier Franck**

**Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
Département de Protection de la santé de l'Homme et de Dosimétrie
Service de Dosimétrie BP n°17 92262 Fontenay-aux-Roses Cedex**

Résumé

En cas d'accident radiologique, il est possible d'estimer la dose reçue par la victime par des techniques de reconstitution physique par calcul, notamment pour déterminer l'hétérogénéité de la distribution de dose en profondeur. Le travail présenté porte sur le développement d'un nouvel outil informatique dédié à la reconstitution dosimétrique d'accident radiologique dû à une source externe, qui a la particularité d'associer une géométrie anthropomorphe voxélisée à un code de type Monte Carlo. Les fonctionnalités de l'outil, ainsi que sa validation par l'expérience pour les photons, sont décrites.

Introduction

La reconstitution dosimétrique d'accident radiologique par calcul nécessite l'utilisation de fantômes anthropomorphes numériques associés à un code de Monte Carlo afin de simuler la victime et son environnement lors de l'accident (Roux, 2000). Un fantôme anthropomorphe numérique doit être le plus réaliste possible. Les premiers modèles anthropomorphes numériques, décrits à partir des années 70, ont permis de représenter spécifiquement les organes au moyen d'équations mathématiques. De nos jours, les techniques d'imagerie médicale telles que la tomodensitométrie (scanner) ou l'imagerie par résonance magnétique (IRM) rendent possible le développement de nouveaux modèles anthropomorphes. Ces nouveaux modèles sont appelés fantômes voxélisés car l'anatomie est reconstituée grâce à l'association de petits éléments de volume appelés voxels ("volume element" en anglais). Les fantômes voxélisés offrent une description très précise de l'anatomie humaine, et présentent ainsi un intérêt tout particulier dans le cas d'irradiations localisées.

L'étude présentée ici porte sur le développement et la validation d'un outil utilisant une interface graphique conviviale, basé sur une géométrie voxélisée associée au code de Monte Carlo MCNP, et adapté à la reconstitution dosimétrique d'accident radiologique dû à une source externe.

Matériel et méthode

Le développement de l'outil a été réalisé au sein de deux laboratoires du service de dosimétrie (le LEMDI et l'UDAC) à partir de l'adaptation du programme CEDIPE (Outil d'Évaluation de la Dose Interne Personnalisé) aux besoins de la reconstitution dosimétrique de surexpositions externes accidentelles. Le programme CEDIPE, mis au point au sein du LEMDI dans le cadre d'évaluations dosimétriques pour des configurations impliquant une contamination interne, permet la création de fantômes voxélisés et la génération automatique de ces fantômes sous forme de fichier d'entrée pour le code de calcul MCNP (code de calcul simulant les interactions des particules avec la matière) (Briesmeister, 2000). Le programme est développé grâce au logiciel PV-Wave®, qui est un logiciel de traitement et de visualisation des données. La structure de CEDIPE est organisée autour des données d'entrée nécessaires à MCNP. Les données d'entrée comprennent notamment les images scanner ou IRM des différentes coupes d'un fantôme ou d'une personne, le descriptif de la source, la grandeur de sortie désirée (Franck, 2001; Borisov, 2002). Le travail a consisté à modifier ce programme afin de compléter le module de calcul de dose et d'élaborer des outils spécifiques à la reconstitution d'irradiations externes accidentelles tels que la mise en place d'une source externe, de murs ou d'écrans. Le nouvel outil mis en œuvre s'appelle SESAME (Simulation of External Source Accident with MEdical images).

La validation expérimentale de l'outil pour les photons a été conduite auprès d'une source de ^{60}Co . Le fantôme physique utilisé lors de l'expérience est de type RANDO (ICRU, 1992). Il s'agit d'un mannequin anthropomorphe corps entier constitué d'un matériau équivalent tissu vis-à-vis des photons. Le mannequin a été équipé de 132 dosimètres thermoluminescents (TLD) constitués de poudre d'alumine (Al_2O_3). Parmi les dosimètres, 43 ont été placés de façon aléatoire à l'intérieur du fantôme, 18 ont été placés sur la surface du fantôme (sur ses faces antérieure et postérieure), 53 ont été placés sur une tranche du fantôme afin de reconstituer la distribution de la dose dans cette tranche, et 18 ont été placés de façon à mesurer la dose absorbée moyenne reçue par un organe de forme parallélépipédique qui n'a aucune réalité anatomique mais qui simule un organe abdominal de géométrie fictive. Le mannequin a été placé en position debout à un peu plus d'un mètre d'une source de ^{60}Co de 376 GBq d'activité (figure 1). Pour la partie calcul, le mannequin RANDO a été scanné à l'hôpital du Val-de-Grâce (Paris 5^{ème}), afin d'acquérir les images permettant la création du fantôme voxélisé dans l'interface SESAME.

Résultats

Développement de l'outil

SESAME se présente sous la forme d'une interface interactive qui permet de gérer l'ensemble de la procédure de reconstitution dosimétrique physique d'accident radiologique. Notamment, l'interface gère le positionnement d'une source externe au fantôme. Cette source (émettrice de

photons, d'électrons ou de neutrons) peut être ponctuelle ou volumique de forme sphérique, cylindrique ou parallélépipédique (figure 2). En pratique, l'utilisateur dispose d'un système interactif qui lui permet de positionner la source par rapport au fantôme grâce à un ensemble de curseurs, de choisir un radioélément constitutif de la source, et d'en préciser l'activité. En outre, il est possible de modéliser l'environnement de l'accident en ajoutant des murs ou des écrans dont la localisation, la géométrie et la composition sont choisies par l'utilisateur (figure 3). Par ailleurs, suite au calcul de dose par le code MCNP, le résultat du calcul est également traité dans l'interface. Ainsi, l'utilisateur peut demander le calcul de la dose dans une région du fantôme qu'il aura préalablement sélectionnée ; il obtiendra en retour un affichage de la distribution de la dose dans cette région anatomique du fantôme. La figure 4a illustre ce propos sur une coupe transverse et une coupe sagittale d'un fantôme anthropomorphe. L'utilisateur peut également demander un calcul de la dose moyenne aux organes segmentés dans le fantôme étudié. La dose est ainsi accessible en n'importe quel point du fantôme.

Validation de l'outil

L'interface a permis de reconstituer la configuration géométrique de l'expérience mise en place pour les photons. Le fantôme anthropomorphe a été créé, la géométrie de l'irradiation (source, cellule en béton, château de stockage de la source) a été modélisée. Suite au calcul de dose par le code MCNP, les résultats ont également été traités grâce à l'interface. La comparaison des résultats de la mesure et du calcul montre que sur les 61 points répartis aléatoirement à l'intérieur et à l'extérieur du fantôme, seuls trois points ont un écart de dose supérieur à 15%, l'écart maximal étant de 25%. Sur ces 61 points, la moyenne des écarts de dose est de l'ordre de 5%. En outre, la superposition des isodoses mesurées et calculées montrent un bon accord (figure 4b). Cependant, on observe une superposition partielle des isodoses mesurées au niveau des hétérogénéités (poumons). Ceci est certainement dû au nombre insuffisant de points expérimentaux (300 fois plus de points pour le calcul) qui limite par définition les performances de l'algorithme de lissage. De plus, la mesure de la dose absorbée moyenne dans l'organe abdominal fictif conduit à une valeur de $2,0 \text{ Gy} \pm 11\%$ (2σ) tandis que le calcul donne une valeur de $1,9 \text{ Gy} \pm 9,5\%$ (2σ). Ces résultats montrent une cohérence et un accord satisfaisants et permettent de valider l'outil SESAME pour les photons.

Conclusion

L'outil SESAME présenté dans cette étude permet de réaliser des calculs dosimétriques à partir de fantômes anthropomorphes voxélisés associés au code de calcul MCNP dans le cadre de la reconstitution de surexpositions externes accidentelles. L'outil a été validé par l'expérience pour les photons afin de s'assurer de la bonne maîtrise des divers processus mis en jeu lors des différentes étapes de la reconstitution par simulation numérique. Une validation expérimentale pour les neutrons, dont les résultats sont actuellement en cours de traitement, ainsi qu'une comparaison entre des calculs

sur un fantôme voxélisé et sur un fantôme numérique mathématique, devraient permettre de contribuer à la caractérisation de l'outil.

Références

- Borisov N., Franck D., de Carlan L., Laval L. (2002). A new Graphical User Interface for fast construction of computation phantoms and MCNP calculations: application to calibration of in vivo measurement system. *Health Phys.* **83**: 272-279.
- Briesmeister J. F. (2000). MCNPTM - A general Monte Carlo N-particle transport code, version 4c. LANL Memorandum. Los Alamos National Laboratory, LA-13709-M.
- Franck D., Laval L., Borissov N., Guillierme P., Bordy J. M. (2001). Development of voxelised numerical phantoms using MCNP Monte Carlo code: application to in vivo measurement. *Radioprotection* **36** (1): 77-86.
- ICRU (1992). Phantoms and computational models in therapy, diagnosis and protection. Bethesda, MD, International Commission on Radiation Units and Measurements.
- Roux A., Bottollier-Depois J. F., Gaillard-Lecanu E. (2000). Qualifying numerical tools for reconstructing physical doses in the case of accidental exposure to ionising radiation. *Radiation Protection Dosimetry* **87**(4): 243 - 249.

Mots-clés : accident radiologique, fantômes voxélisés, source externe



Figure 1 : configuration de l'irradiation d'un mannequin de type RANDO auprès d'une source de photons.

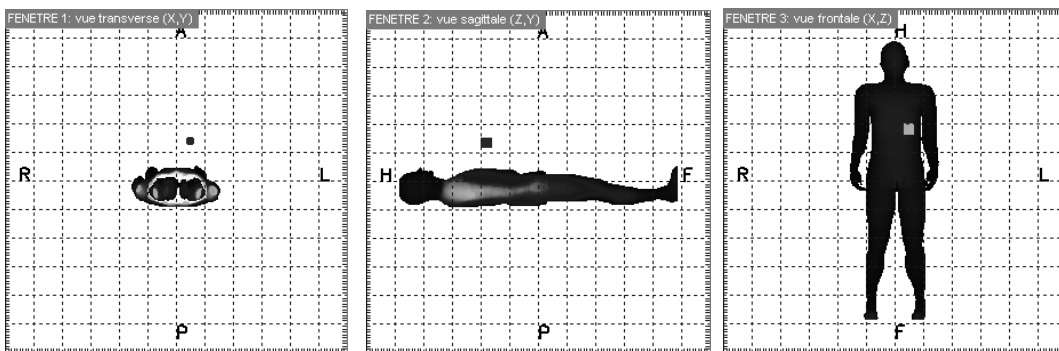


Figure 2 : interface SESAME, placement d'une source volumique externe, par rapport à un fantôme anthropomorphe.

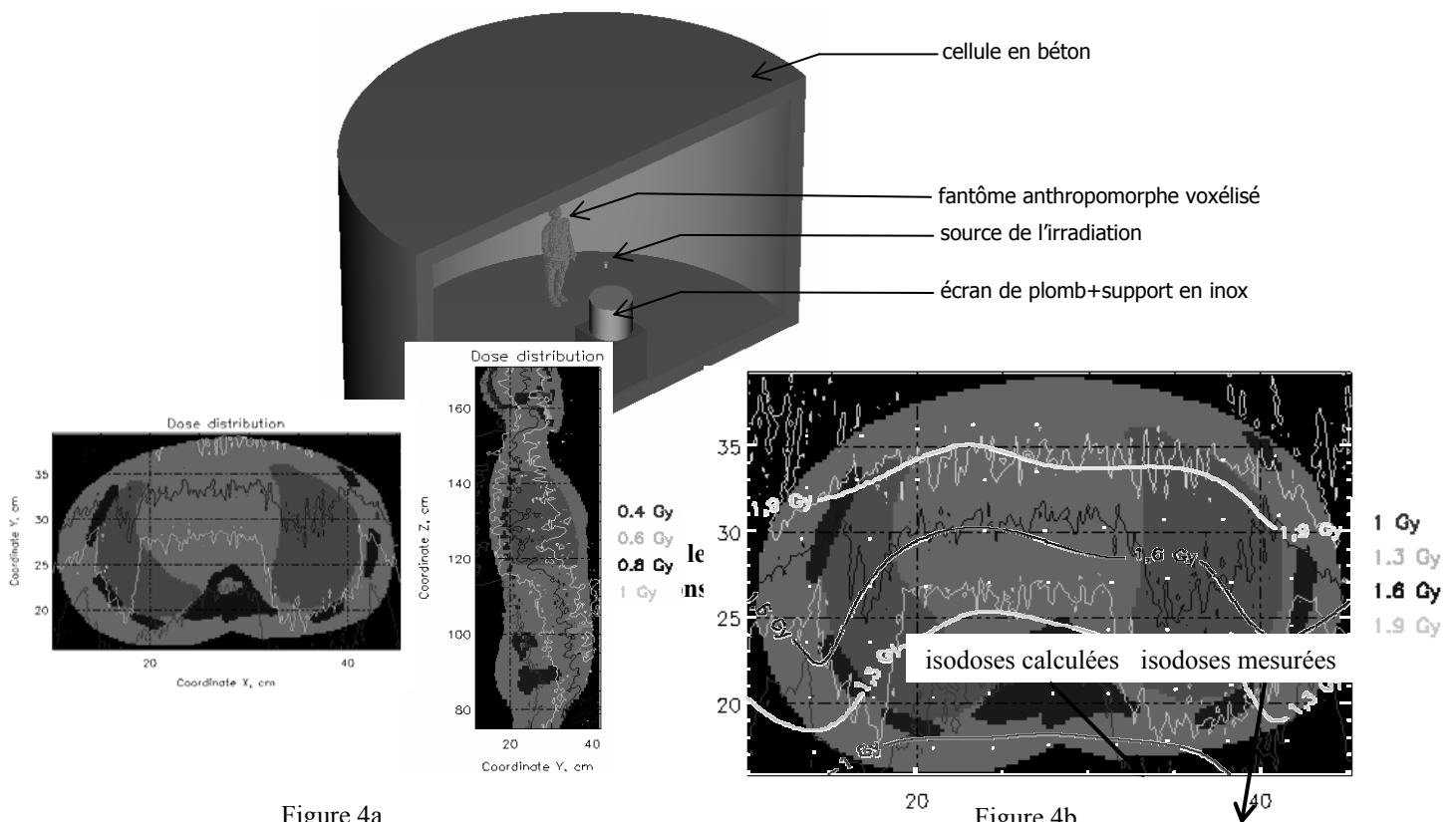


Figure 4a

Figure 4b

Figure 4 : superposition des isodoses et de l'anatomie dans l'interface SESAME.

Figure 4a : exemple sur une coupe transverse et une coupe sagittale

Figure 4b : comparaison de la mesure et du calcul