

# RAYXPERT<sup>®</sup> : UN LOGICIEL DE MODELISATION 3D ET DE CALCUL DE DEBIT DE DOSE PAR MONTE-CARLO

C. DOSSAT, P. POURROUQUET, J.-C. THOMAS, L. SARIE,  
P.-F. PEYRARD, N. CHATRY, D. LAVIELLE

TRAD

907 voie Occitane, 31670 Labège

<http://www.rayxpert.com>; <http://www.trad.fr>

TRAD, fort de son expérience logicielle dans le domaine spatial, propose au travers de RayXpert [1] une solution adaptée et efficace aux problématiques rencontrées par les personnes compétentes en radioprotection et les sociétés spécialisées dans la conception, l'adaptation ou le démantèlement d'installations nucléaires.

RayXpert est actuellement utilisé par l'IRSN [10] qui collabore à l'amélioration des fonctionnalités du logiciel, par ses retours lors de ses différentes applications.

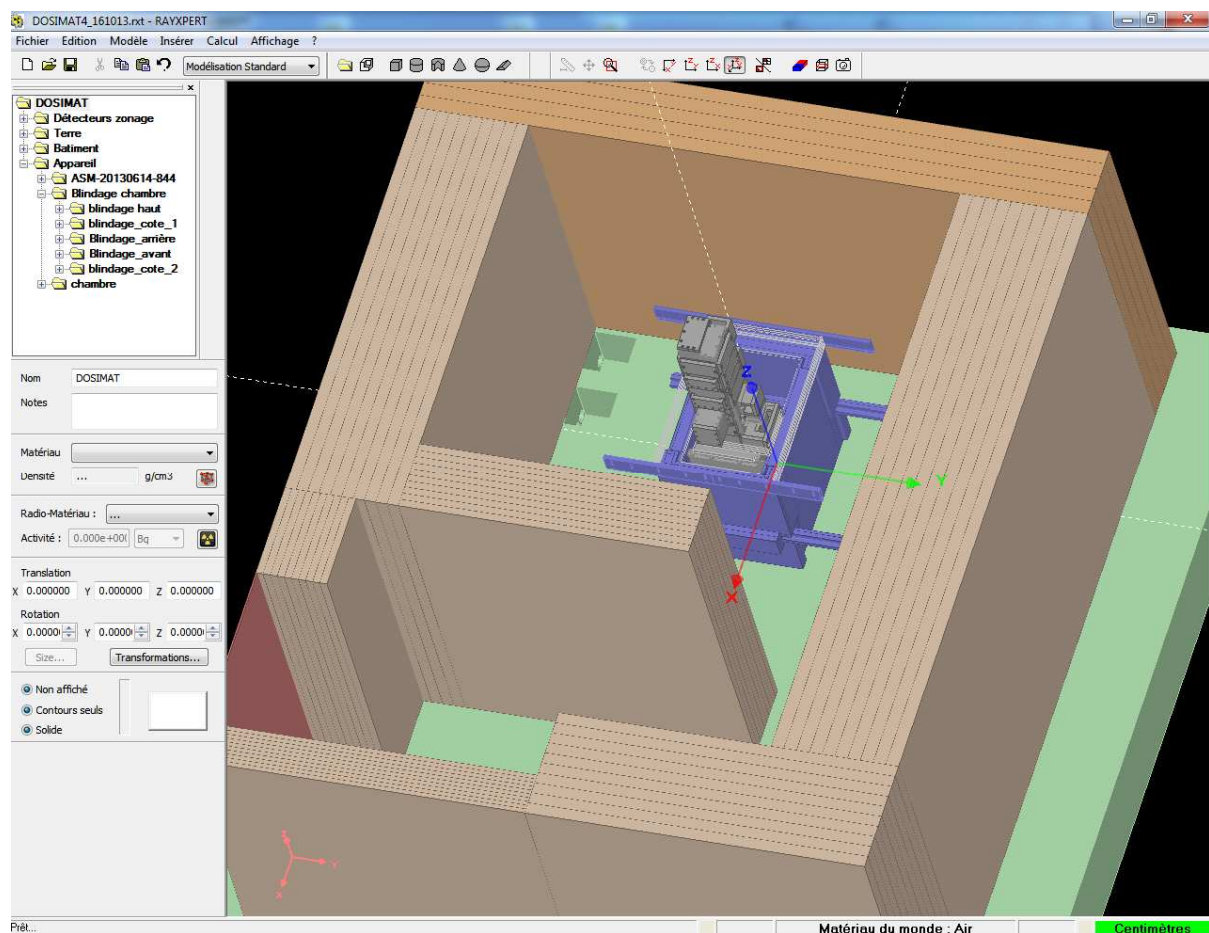


Figure 1: Interface de visualisation de RayXpert, mêlant objets importés de la CAO et volumes créés par l'utilisateur.

RayXpert est un logiciel de modélisation 3D et de calcul de débit de dose par Monte Carlo. RayXpert traite notamment le transport des photons, des électrons et des positrons. Utilisable sous Windows<sup>®</sup> XP et Windows<sup>®</sup> 7, RayXpert permet d'accéder rapidement à la

précision du Monte Carlo tout en profitant d'une interface graphique conviviale de type «presse-bouton ».

L'ensemble des fonctionnalités proposées par RayXpert assiste l'utilisateur dans son analyse, pour un travail précis, efficace et rapide. La gestion d'un scénario (géométrie, sources, détecteurs...) est facilitée par une palette d'outils simplifiant les étapes de modélisation et de calcul :

- Les paramètres d'une simulation sont tous mémorisés, optimisant ainsi la relance des calculs,
- Accès à un gestionnaire d'équipements permettant à l'utilisateur de sauvegarder et de charger tout ou partie de ses modèles,
- Liste prédéfinie de matériaux (issus du NIST [2]),
- Liste d'isotopes radioactifs issus de la base de données EAF2010 [3] prenant en compte les photons à 511 keV des émissions  $\beta^+$ ,
- Définitions des sources et des détecteurs par simple sélection d'une ou de plusieurs parties de l'arborescence du modèle,
- Accès au multi-threading avec sauvegarde automatique des résultats assemblés pour diminuer encore les temps de calculs,
- Possibilité de suivre ou non les trajectoires des électrons via l'activation de l'option TTB (Thick Target Bremsstrahlung),
- Visualisation des trajectoires des particules sur l'interface graphique.

L'interface permet également de réaliser rapidement des modèles 3D réalistes, en combinant des formes solides simples (CSG) à des éléments importés de modèles 3D au format STEP réalisés à partir de logiciels de CAO standards (CATIA, SolidWorks, Pro-E, AutoCad,...).

Le suivi des particules (photons, électrons, positrons) dans la structure est effectué par méthode de Monte-Carlo dans les 3 dimensions. La gestion des processus physiques pour les interactions particule-matière a été programmée en se basant sur le traitement de la physique de GEANT4 [4] et prend en compte les phénomènes suivants au-dessus de 1 keV :

- Pour les photons : effet Compton et effet photo-électrique avec prise en compte de la fluorescence X et de l'effet Auger (relaxation atomique), matérialisation (création de paires),
- Pour les électrons : multi-diffusion, ionisation, bremsstrahlung (rayonnement de freinage),
- Pour les positrons : multi-diffusion, ionisation, bremsstrahlung, annihilation.

Un biaisage entièrement automatisé et basé sur la technique des « fenêtres de poids » est proposé afin d'accélérer la convergence pour les géométries complexes.

Les résultats sont donnés dans des fichiers implémentés et édités tout au long du calcul permettant un suivi en direct de l'évolution des doses calculées et de leurs convergences. Ces fichiers affichent à la fois les débits d'équivalent de dose (DED H\*(10) de la CIPR74 [5]) et les doses intégrées par détecteur (Gy) et les flux de photons et ou d'électrons associés.

D'autres fonctionnalités seront mises en place dans RayXpert prochainement :

- physique des neutrons,
- post-traitement des fichiers résultats via l'interface graphique,
- mise en place du maillage 3D pour le calcul des doses dans tout l'espace,
- affichage automatique du zonage dans le cas de l'exposition externe tel qu'il est défini dans l'arrêté du 15 mai 2006 [11],
- création d'une version 64 bits pour encore plus de puissance de calcul.

Des comparaisons par rapport au code de référence MCNPX™ version 2.7.0 [6], mais également avec DOSIMEX-G version 1-3 [7], MERCURAD™ [8] et MICROSIELD® V9 [9]

ont permis de valider le transport, la diffusion et les doses générées par les photons et les particules secondaires à travers différents matériaux (béton, plomb, aluminium, nylon,...) et pour plusieurs sources (Co, Cs, Eu, Am...).

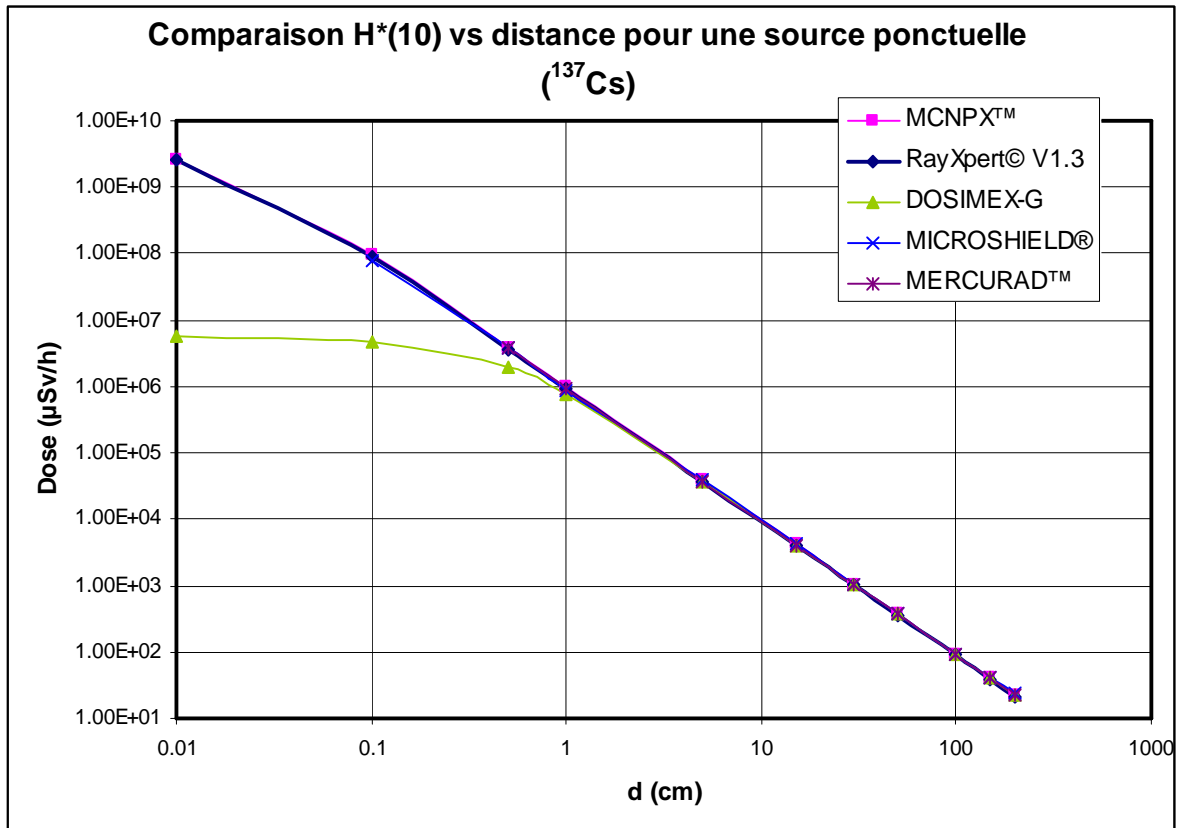


Figure 2: Comparaisons  $H^*(10)$  source ponctuelle versus distance avec MCNPX™, DOSIMEX-G, MICROSHIELD® et MERCURAD™

| Source            | Configuration       | $H^*(10)$ µSv./h |        |           |              |           |
|-------------------|---------------------|------------------|--------|-----------|--------------|-----------|
|                   |                     | RayXpert © V1.3  | MCNPX™ | DOSIMEX-G | MICROSHIELD® | MERCURAD™ |
| $^{137}\text{Cs}$ | Source nue          | 91               | 98.4   | 92.5      | 93.6         | 92.8      |
|                   | Source + alu 10 cm  | 34               | 33.0   | 44        | 45.3         | 51.7      |
|                   | Source + Plomb 2 cm | 13.5             | 14.2   | 13.3      | 14.16        | 13.7      |
|                   | Source + Eau 50 cm  | 5.7              | 5.6    | 14        | 14.4         | 16.5      |
| $^{60}\text{Co}$  | Source nue          | 348              | 355    | 349       | 347          | 353       |
|                   | Source + alu 10 cm  | 160              | 158    | 203       | 192          | 210       |
|                   | Source + Plomb 2 cm | 143              | 146    | 143       | 141          | 152       |
|                   | Source + Eau 50 cm  | 44               | 43     | 80        | 76           | 86.5      |

Tableau 1: Débit de dose sources ponctuelles + écran - comparaisons avec MCNPX™, DOSIMEX-G, MICROSHIELD® et MERCURAD™

Conclusion :

RayXpert est un outil permettant d'allier la convivialité de l'interface 3D, l'efficacité de l'import de format CAO et la puissance d'un moteur de calcul Monte Carlo 3D. Sa prise en main rapide en fait un outil d'ingénieur efficace et adapté aux problématiques rencontrées en radioprotection dans des domaines variés comme le démantèlement d'installations nucléaires, le dimensionnement d'installations médicales ou industrielles, le zonage ou les études de poste dans tous les domaines.

Références :

- [1] : RayXpert v1.3, <http://www.rayxpert.com>
- [2] : NIST, <http://physics.nist.gov>
- [3] : EAF2010, <http://www.ccf.ac.uk/EASY-data/eaf2010/ENDF-6>
- [4] : GEANT4, <http://geant4.web.cern.ch/geant4>
- [5] : CIPR74, "Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation", ICRP Publication 74, Ann. ICRP 26 (3-4), 1996
- [6] : MCNPX™ user's manual, version 2.7.0, April 2011, Denise B Pelowitz, editor
- [7] : DOSIMEX, « Calculs de doses générées par les rayonnements ionisants », A. Vivier, G. Lopez, edp science, CEA, INSTN
- [8] : MERCURAD, [http://www.canberra.com/fr/produits/waste\\_safeguard\\_systems/systems-software.asp](http://www.canberra.com/fr/produits/waste_safeguard_systems/systems-software.asp)
- [9] : MICROSIELD, <http://www.radiationsoftware.com/mshield.html>
- [10] : IRSN DPHD/SEGR/SAER, <http://www.irsn.fr>
- [11] « l'arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées ».