



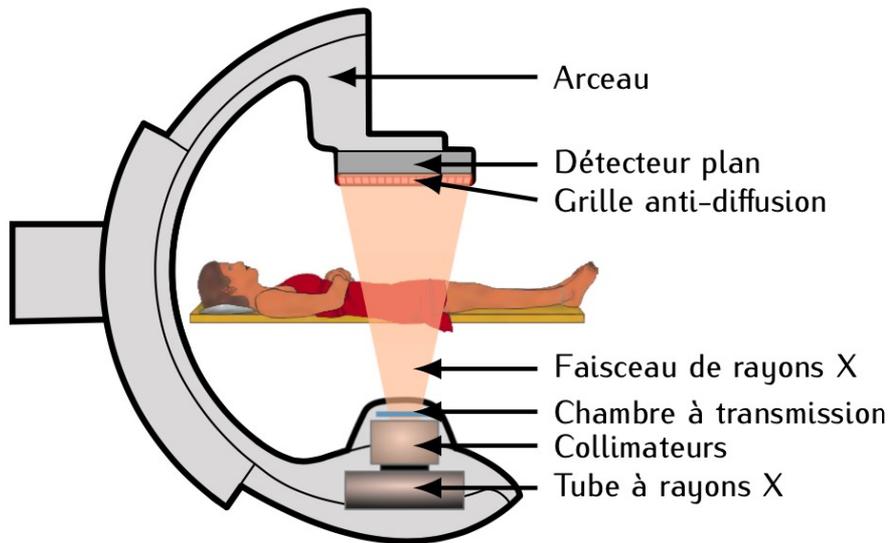
# Outil(s) de dosimétrie computationnelle pour la radioprotection des travailleurs en radiologie interventionnelle

N. Arbor, E. Bottlaender, T. Burckbuchler, J. Chateaux, R. Guerra  
([nicolas.arbor@iphc.cnrs.fr](mailto:nicolas.arbor@iphc.cnrs.fr))

7<sup>eme</sup> Journées Scientifiques  
Codes de calculs en radioprotection, radiophysique et dosimétrie  
09/03/2022

# Radiologie interventionnelle

- Actes médicaux réalisés sous contrôle radiologique (+10% par an)
- Diagnostic ou traitement invasif de nombreuses pathologies
- Exemples : embolisation, pose de stent, destruction radiofréquence, ...
- La durée des interventions peut être très importante (plusieurs heures)



*Schématisme de l'irradiation du patient*



*Faisceau primaire, faisceau diffusé*

# Radiologie interventionnelle

- Actes médicaux réalisés sous contrôle radiologique (+10% par an)
- Diagnostic ou traitement invasif de nombreuses pathologies
- Exemples : embolisation, pose de stent, destruction radiofréquence, ...
- La durée des interventions peut être très importante (plusieurs heures)



Dosimètres bague / cristallin



Dosimètre poitrine (sur/sous tablier plombé)



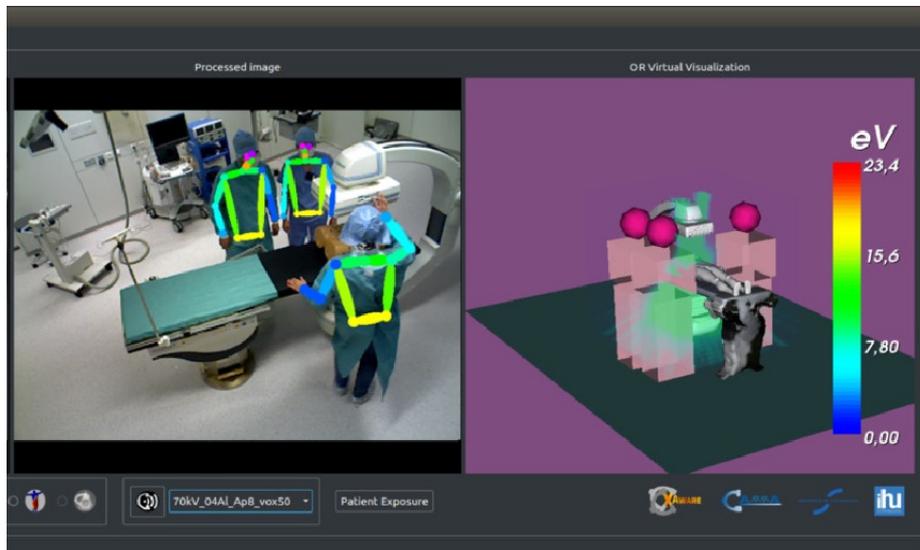
Dosimétrie du personnel en temps-réel

# Vers un nouveau paradigme ?

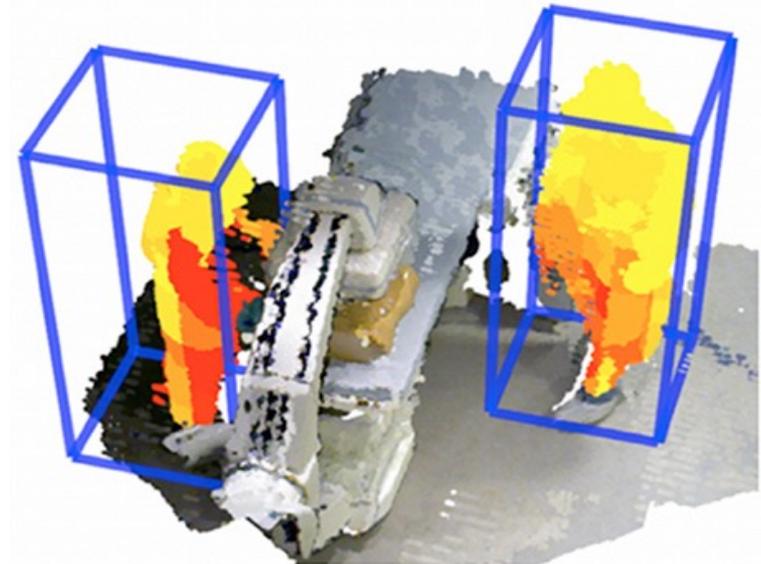
- Intérêts multiples du calcul de dose (dosimétrie computationnelle) :
    - pas de problème lié au port des dosimètres
    - informations en temps-réel (ou presque)
    - distributions spatiales de dose, dose aux organes ( $\Leftrightarrow$  risque faibles doses)
  - La fiabilité des calculs repose sur de nombreux paramètres :
    - modélisation de l'installation et des champs de rayonnements
    - modélisation des travailleurs/patient (morphologie, positions, ...)
  - La caractérisation expérimentale des champs de rayonnements est un outil important de validation et/ou de normalisation des calculs
- $\Rightarrow$  Compléter la mesure (réglementaire) de dose par un couplage entre code de calcul et système de mesure des champs de rayonnements**

# Exemples de projet

- Institut de chirurgie guidée par l'image de Strasbourg
- Utilisation de la réalité augmentée pour visualiser le champ de rayonnements sur le personnel médical + calcul d'exposition



<https://www.youtube.com/watch?v=JpATPDrXvu8>



Carte de dose 3D en salle de radiologie interventionnelle  
(N. Loy Rodas, N. Padoy (2014))

# Exemples de projet

- Projet européen (EJP Concert) : <https://www.icrp.org/page.asp?id=547>

## La dosimétrie sans dosimètre: PODIUM (Personal Online DosImetry Using computational Methods)

Filip Vanhavere et toute l'équipe PODIUM

Centre d'étude de l'Energie Nucléaire, SCK•CEN, Mol, Belgium

Filip.vanhavere@sckcen.be



# Exemples de projet

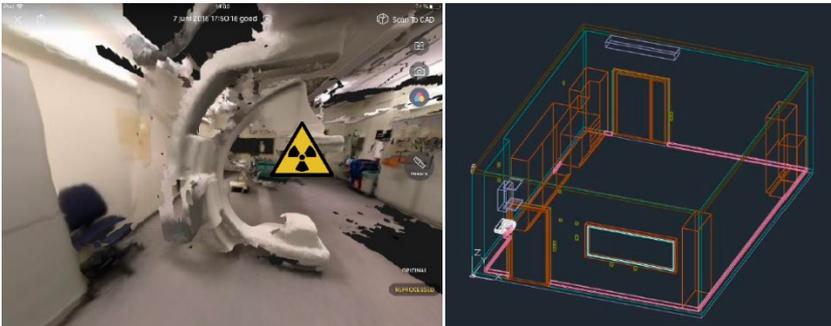
## La solution? La dosimétrie computationnelle!



Surveiller la position et les mouvements du personnel avec une caméra 3D et modélisation avec fantômes numériques anthropomorphes flexibles



Calculer les doses aux organes en temps réel avec des simulations de transport de rayonnement Monte Carlo



Modélisation de la géométrie du lieu de travail et de la source de rayonnement

- Collaboration entre l'IPHC (UMR7178) et l'hôpital de Mulhouse (GHRMSA)\*
- **Objectif** : développement d'un outil de calcul de dose personnel en RI
  - complémentarité avec les informations de la dosimétrie travailleur
  - analyse plus avancée des pratiques
- **Méthodologie** :
  - base de données de cartographies d'exposition 3D (simulation MC)
  - paramètres de l'intervention (fichiers Dicom RDSR)
  - utilisation d'un système de mesure dans la salle (installation et/ou systèmes externes)
- **3 étapes principales** :
  - (1) analyse statistique des données DACS (↔ paramètres des cartes d'exposition)
  - (2) modélisation des installations et validation expérimentale (↔ base de données)
  - (3) reconstruction de l'intervention (DICOM) (↔ calculs des doses)

# Base de données : cahier des charges

- Cartographies d'exposition à générer :
  - paramètres de l'irradiation (nombre, intervalles, discrétisation)
  - équipements de protection collectifs (paravents haut/bas, ...)
  - position du praticien (écranage) et du patient (diffusion)
- Données à enregistrer : débit de kerma air (3D), produit dose surface (normalisation)
- Analyse statistique des interventions cardiaques au GHRMSA (6 mois) :
  - kV (55-125 kV) *pas de 15 kV*
  - filtration (2 cas Al/Cu majoritaires) *2 configurations*
  - angles primaires et secondaires (-90+90 , -45+45) *pas de 15°*
  - position table (lat./long.  $\approx$  constante, hauteur 4-32 cm) *pas de 5 cm*
  - avec/sans paravent *2 configurations*

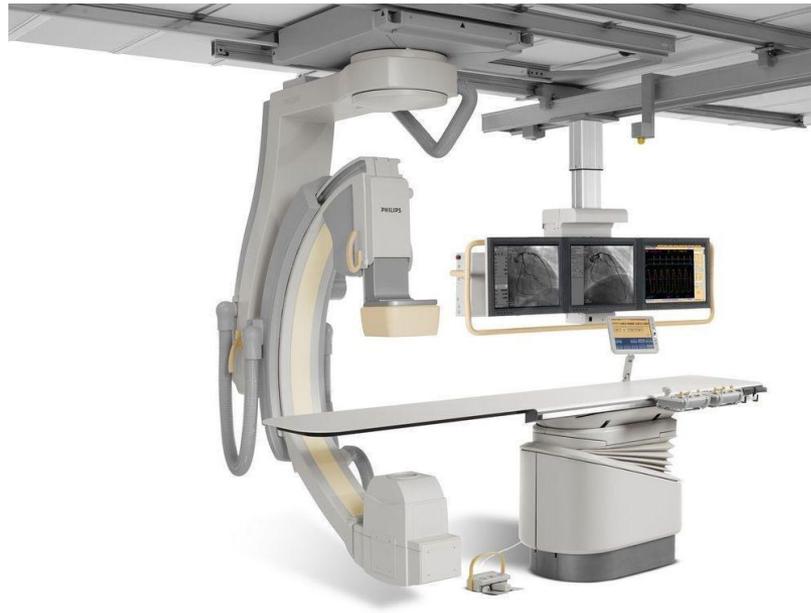
→  $\approx$  8000 cartographies à générer

→ 5% d'erreur (stat.)  $\Leftrightarrow \approx$  15 min / carte (méthodes de réduction de variance)

⇒ **1<sup>ere</sup> version de la base de données produite avec  $\approx$  2000h de calculs \***

# Base de données : modélisation Monte Carlo

- Utilisation du code de simulation GATE :
  - code *open-source* basé sur Geant4
  - principe des « acteurs » (un peu comme les *Tally* pour MCNP)
  - beaucoup d'outils pour les applications médicales (imagerie, thérapie)
- Modélisation d'une salle de radiologie interventionnelle (Philips Allura-FD10/20)



# Base de données : modélisation Monte Carlo

- Paramètres principaux :
  - spectres de rayons-X avec filtration (SpekPy)

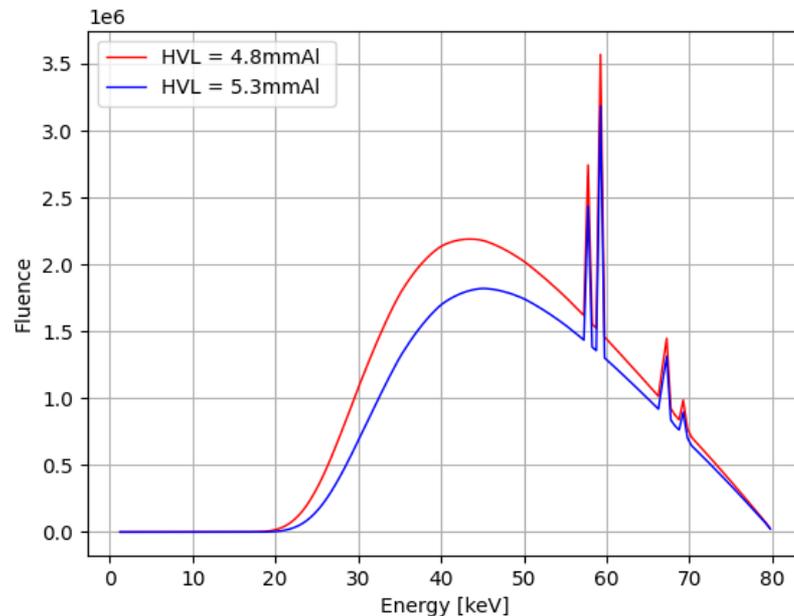
```
import spekpy as sp
import numpy as np
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as plt

s = sp.Spek(kvp=80,th=20) # Generate a spectrum (80 kV, 20 degree tube angle)
s.filter('Al', 4.5) # Filter by 4 mm of Al
s.filter('Co', 0.1) # Filter by 0.1 mm of Al

hvl = s.get_hvl1() # Get the 1st HVL in mm Al

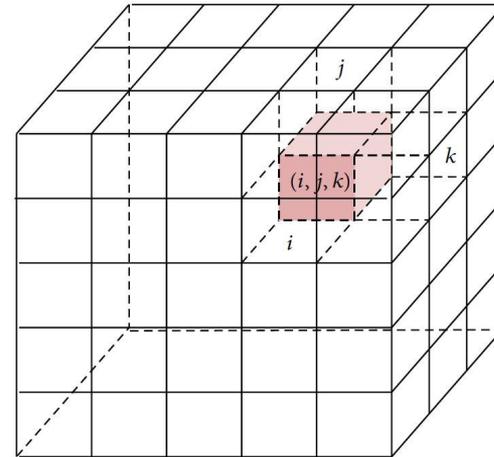
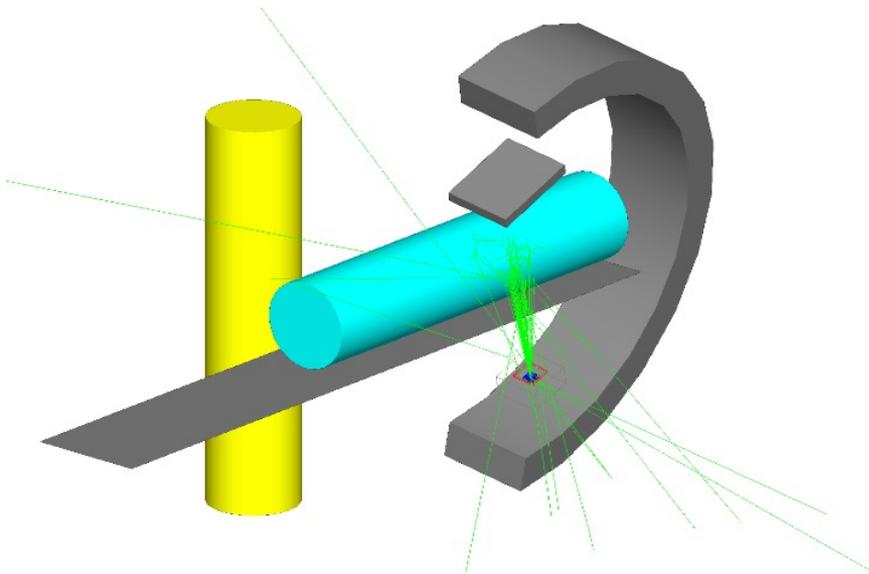
spek = s.get_spectrum()
ene = s.get_k() #energy bins
flu = s.get_spk() #fluences
```

[https://bitbucket.org/spekpy/spekpy\\_release/wiki/Home](https://bitbucket.org/spekpy/spekpy_release/wiki/Home)



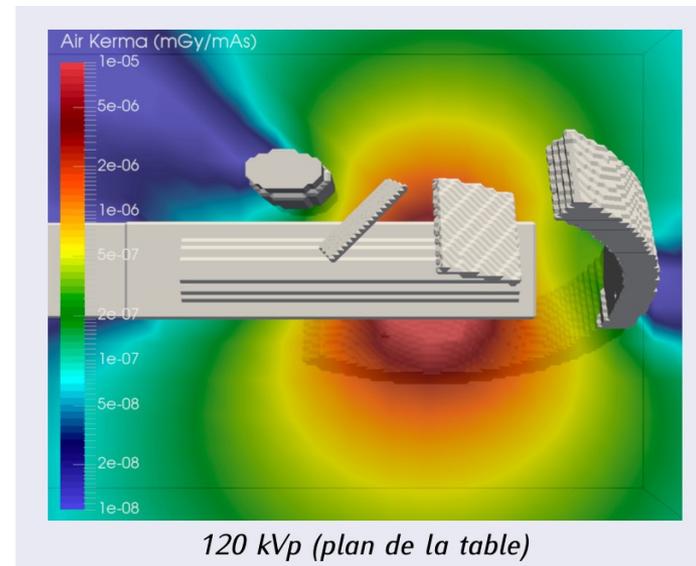
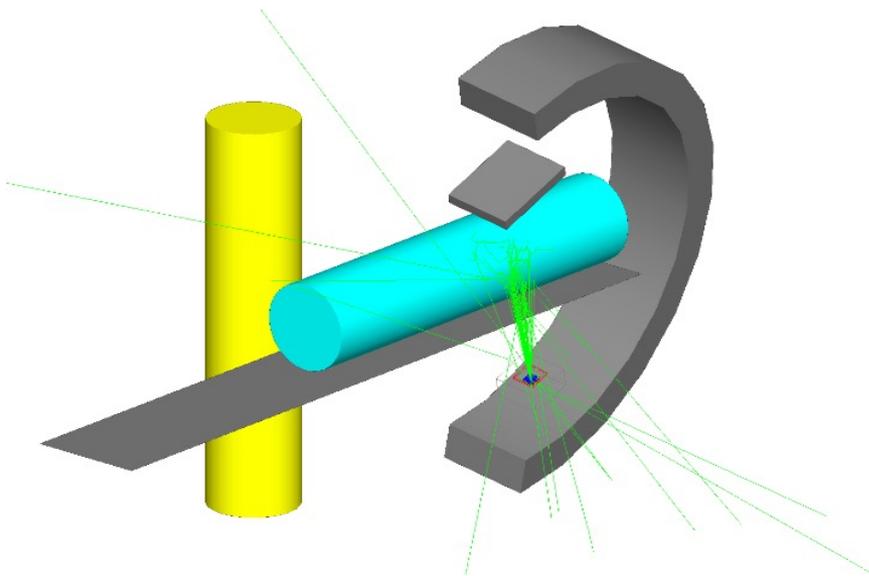
# Base de données : modélisation Monte Carlo

- Paramètres principaux :
  - spectres de rayons-X avec filtration (SpekPy)
  - bras en C avec deux angles de rotation
  - table (position XYZ) avec patient (fantôme cylindrique)
  - praticien (fantôme cylindrique)
  - équipements radioprotection (paravents)
- Kerma dans l'air calculé dans une matrice 3D (voxelisation de la salle)



# Base de données : modélisation Monte Carlo

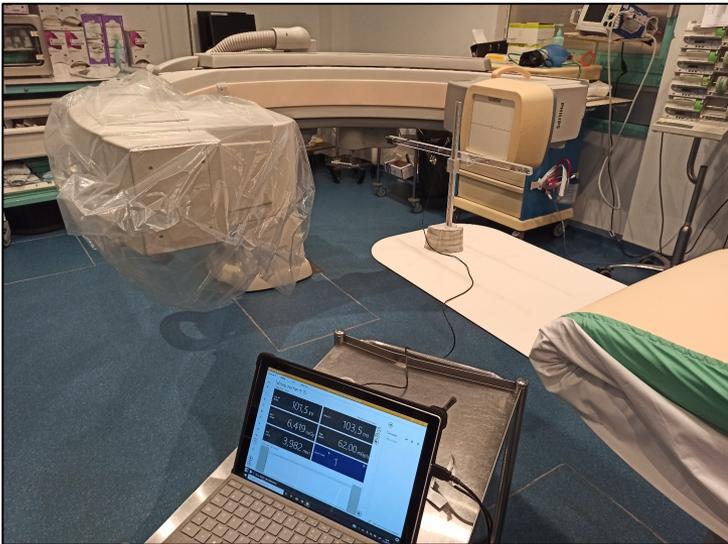
- Paramètres principaux :
  - spectres de rayons-X avec filtration (SpekPy)
  - bras en C avec deux angles de rotation
  - table (position XYZ) avec patient (fantôme cylindrique)
  - praticien (fantôme cylindrique)
  - équipements radioprotection (paravents)
- Kerma dans l'air calculé dans une matrice 3D (voxelisation de la salle)



T. Deschler, thèse Université de Strasbourg (2018)

# Base de données : modélisation Monte Carlo

- Normalisation des calculs via la mesure du Produit Dose Surface (PDS)
- Validation expérimentale :
  - atténuation de la table/matelas (AGMS-D+)
  - kerma air dans le champ primaire (AGMS-D+, chambre 180 cm<sup>3</sup>)
  - kerma air dans le champ diffusé (chambre 1800 cm<sup>3</sup>)

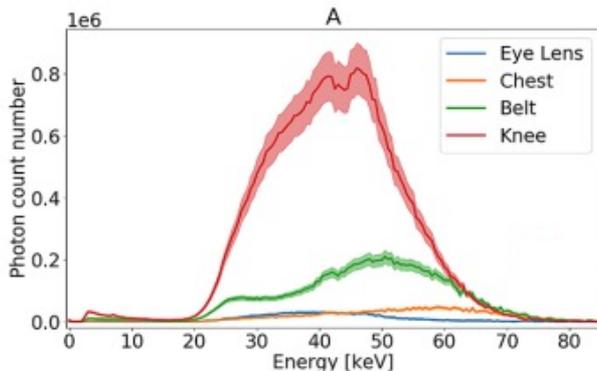


⇒ écarts systématiques (mesures/calculs) d'environ 10-20% sur le kerma air (à améliorer)



# Calcul des expositions

- Extraction des paramètres de l'intervention via les fichiers DICOM RDSR (par irradiation)
- Exploitation de la base de données :
  - présent : interpolation entre les deux cartographies les plus représentatives
  - futur : exploitation plus intelligente (IA) ?
- Calcul des expositions : application des facteurs de conversion**
  - choix des facteurs pour la comparaison expérimentale :  $H_p(10)/K_a$  et  $H_p(0,07)/K_a$  (CIPR74)  
 $H_p(3)/K_a$  (publications)
  - étude de la dépendance en énergie (position voxel, kV)



M. Nowak et al., *Characterisation and mapping of scattered radiation fields in interventional radiology theatres*. Nature Scientific Reports 2020

	kV	keV (moyen)	Facteurs de conversion $H_p(10)/K_a$
Mean	80	48	1,71
Min	70	45	1,64
Max	105	52	1,78

G. Gualdrini et al., *Air kerma to  $H_p(3)$  conversion coefficients for photons from 10 keV to 10 MeV, calculated in a cylindrical phantom*. Rad. Pro. Dos. 2013

J. Daures et al., *Conversion coefficients from air kerma to personal dose equivalent  $H_p(3)$  for eye-lens dosimetry*. CEA-Report 2009

# Premiers tests

- Sélection d'interventions de coronographie sans VG (ventriculographie gauche) :
  - 50% des examens
  - peu de mouvements du personnel
- Mesures sur le praticien pendant l'intervention via la dosimétrie opérationnelle
- Normalisation des calculs de dose via le PDS (par tir, jusqu'à 100/intervention)

Examens tests	PDS (mGy.cm <sup>2</sup> )	Equivalent de dose personnel mesuré (μSv)	Calcul des doses (μSv)	Ratio
Cas 1	4 320	7	8	1.15
Cas 2	3 931	4	5	1.25
Cas 3	16 280	12	24	2
Cas 4	2 000	2	3	1.5

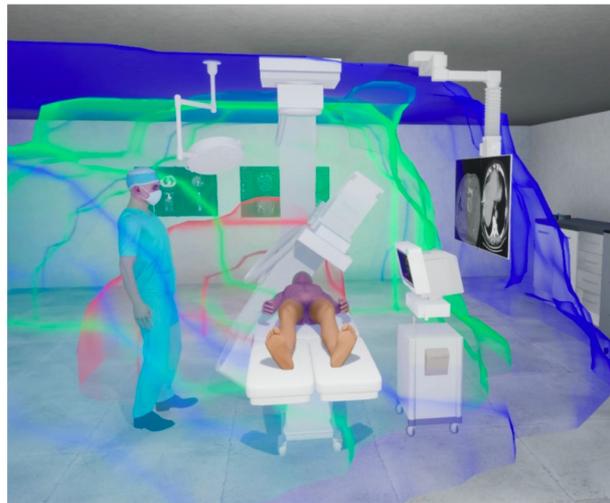
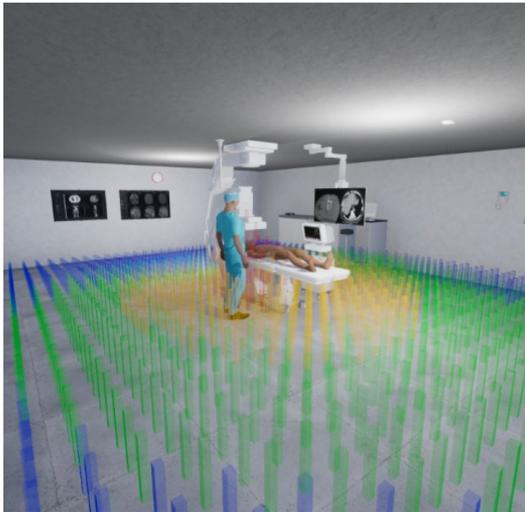
# Perspectives

- Premiers tests encourageants, automatisation de la procédure en cours :
  - analyse statistique sur un plus grand nombre d'interventions
  - identification des examens avec des écarts importants mesures / calculs
  - suivi complémentaire de la dosimétrie réglementaire
- Etude de l'intérêt d'un système de mesure en salle pour vérifier/normaliser les calculs (en complément du PDS)
- Etude de l'intérêt d'un calcul plus « intelligent » des expositions (IA)



# Bonus : logiciel RV

- Utilisation de la base de données pour le développement d'un logiciel de formation en radioprotection basé sur la réalité virtuelle (projet étudiant)
- Collaboration IPHC, ICube, GHRMSA



<https://igg.icube.unistra.fr/index.php/Emera>