

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



L'évaluation des doses des travailleurs est nécessaire

- Suivi des limites de dose
- Application du principe ALARA
- Information nécessaire en cas d'accident

- Actuellement les doses sont évaluées avec des dosimètres physiques
 - Dosimètres passifs
 - Dosimètres actifs
 - Dosimètres bague, cristallin
 - ...

Les dosimètres ont des problèmes

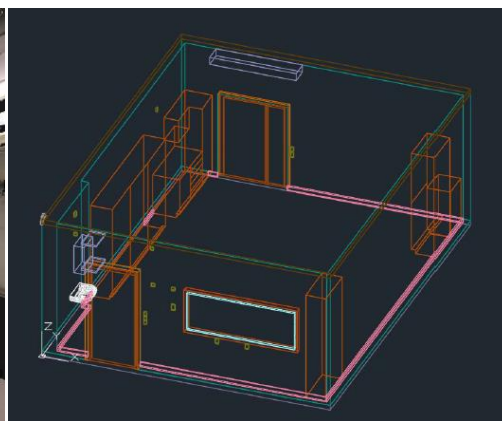
- Pas – très - agréable à porter
- Risque d'oublier, de porter incorrectement ou de perdre
- Estimation de dose efficace par les grandeurs opérationnelles $H_p(10)$, $H_p(3)$, $H_p(0.07)$
- Impossible de prendre en compte les effets individuels
- Pas de dosimétrie des organes
- Informations spatiales très limitées: exposition hétérogène!
- Réponse du dosimètre imparfaite avec facteur jusqu'à 1.5-2
⇒ Neutrons: facteur 4...?

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



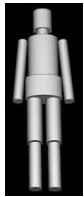
Modélisation de la géométrie du lieu de travail et de la source de rayonnement

Des évolutions technique très rapides

Computational Phantoms Monte-Carlo Methods

1950's 1960's 1980's 2000's

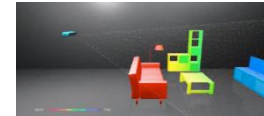
Simple Stylized Voxel Hybrid



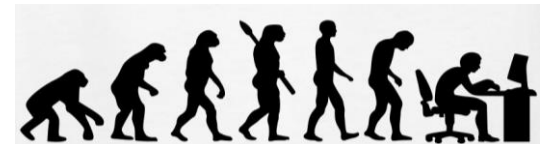
Position/Pose



Motion tracking Computer Vision Machine Learning



Computational Power



Geometries



Radiation source



Projet PODIUM

- Personal Online DosImetry Using computational Methods
- Objectif: Démontrer la faisabilité de la dosimétrie computationnelle
- 01/01/2018 - 31/12/2019
- Projet CE financé par le 2^{ème} appel de CONCERT
- Budget total: 1.4 M€, Financement CE: 0.95 M€
- podium-concerth2020.eu

1. Belgian Nuclear Research Centre (SCK•CEN)

2. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)
3. Helmholtz Zentrum München (HMGU)
4. Lund University Sweden (LU)
5. Public Health England (PHE)
6. Greek Atomic Energy Commission (EEAE)
7. St. James's Hospital Ireland (SJH)



Projet PODIUM

WP0: Management
Coordinateur et responsables de WP

WP1: Surveillance du personnel,
géométrie, source de rayonnement

WP2: Fantômes numériques
anthropomorphiques, calcul de la
dose

WP3: intégration dans
une application logicielle

WP4: Radiologie interventionnelle

WP5: champs neutroniques

WP6: Dissémination

WP1 – Surveillance du personnel: Microsoft® Kinect™ v2 Time of Flight camera



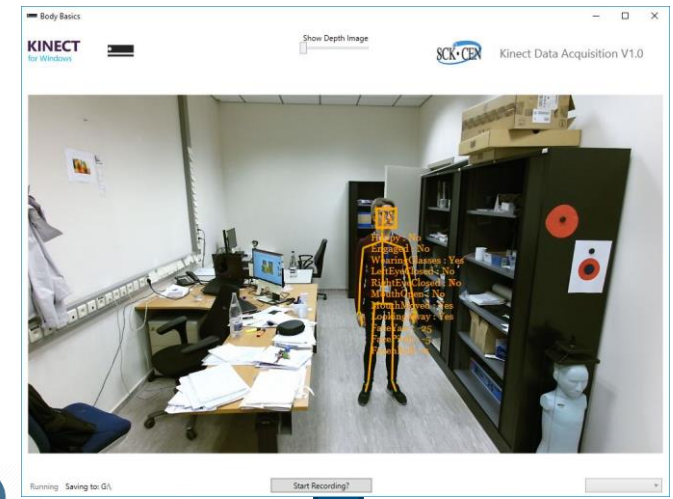
Algorithme de suivi du squelette avec 1 caméra

Image de profondeur



Real-time processing

Skeleton Tracking



z
x y

XYZ coordonnées (26 points)

WP1 – Surveillance du personnel: Réseau avec plusieurs caméras:

PODIUM Multi-kinect. ClientID :1

PODIUM Multi-kinect. ClientID :0

Kinect Admin GUI - 192.168.137.1:8888/8889 (read/send)

PODIUM Personal Online Dosimetry Using computational Methods

CONCERT

UPC

Sending Data...

<skeleton tracking>

2ID: 72057594037969938
Status: Tracked
Position: -0,48 -0,55 1,53

4ID: 72057594037969947
Status: Tracked
Position: 0,12 -0,60 1,86

192.168.137.1 Disconnect

Log data Reset tracker

Sending Data...

<skeleton tracking>

4ID: 72057594038102025
Status: Tracked
Position: 0,11 -0,07 2,57

5ID: 72057594038102986
Status: Tracked
Position: 0,52 -0,25 2,01

192.168.137.1 Disconnect

Log data Reset tracker

[Kinect 0]
2 skeleton/s detected

ID: 72057594038102025
Status: Tracked
Position: 0,14 -0,09 2,51

ID: 72057594038102986
Status: Tracked
Position: 0,53 -0,24 2,00

[Kinect 1]
2 skeleton/s detected

ID: 72057594037969938
Status: Tracked
Position: 0,11 -0,13 2,57

ID: 72057594037969947
Status: Tracked
Position: 0,55 -0,36 2,11

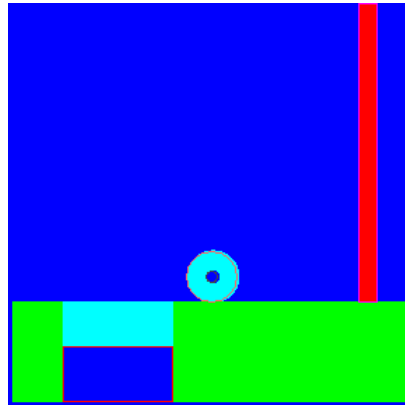
[Fused Kinect Result]
2 skeleton/s detected

ID: 0
Status: Tracked
Position: 0,12 -0,11 2,54

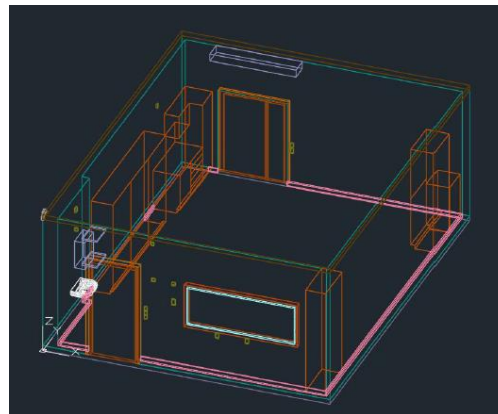
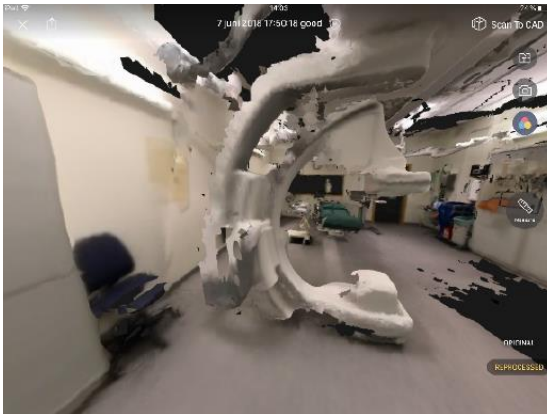
ID: 1
Status: Tracked
Position: 0,54 -0,30 2,06

Moins de problèmes avec des obstructions et identification

- Géométrie simple créée par combinaison des macro solides directement dans le logiciel MC



- Géométrie complexe créée avec une caméra 3D et un logiciel dédié



WP1 – Source de rayonnement: Radiologie interventionnelle

- Informations fixes: Anode, filtration inhérente, C-arm, intensificateur d'image, table, équipement protecteur fixe

⇒ Hôpital et fabricant de machines à rayons X

- Informations variables: Anatomie du patient, zone anatomique examinée, données d'événement d'irradiation (dimensions de champs, kVp, filtration, angles, KAP, ...)

⇒ Fichier RDSR (Radiation Dose Structured Report)

- Peut être différent d'un hôpital à l'autre
- Disponible seulement après procédure
- Pas toujours complet
- Doit être synchronisé avec le Kinect

WP1 – Source de rayonnement: champs neutroniques

- Modèle de la source de neutrons
 - Type et activité d'une source de radionucléide
 - Modèle d'un réacteur nucléaire ou d'un accélérateur
 - ...
- Validation détaillée du modèle avec campagne de mesure
 - Débit de dose ambient $H^*(10)$ avec des moniteurs portables
 - Distribution d'énergie avec système de sphères de Bonner ou spectromètre portable comme DIAMON
- Un ou plusieurs moniteurs de neutrons fixes pour normalisation

WP2 – Fantômes numériques anthropomorphes Donna et Irene

- HMGU fantômes voxelisés féminins
- Avec tablier et collier de plomb



Donna
40 years
176 cm
79 kg

Irene
32 years
163 cm
51 kg

WP2 – Fantômes numériques anthropomorphes

RAF: Realistic Anthropomorphic Flexible Phantom

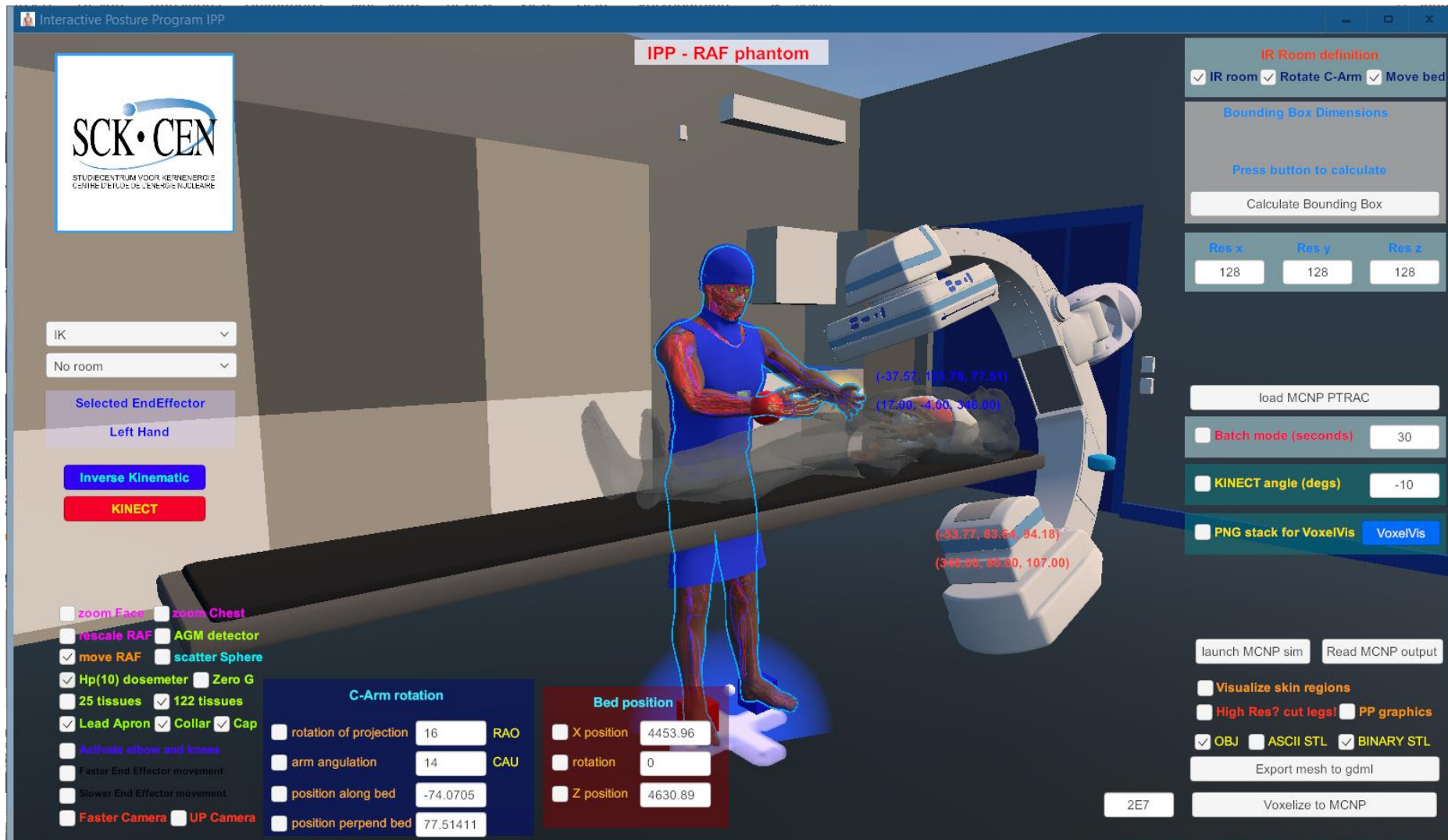
- Polygonal Mesh Boundary Representation Phantom
- Masses tissulaires adaptées à ICRP 89
- Fantôme avec 2900 tissus segmentés
- Validation dosimétrique en comparaison avec ICRP 116



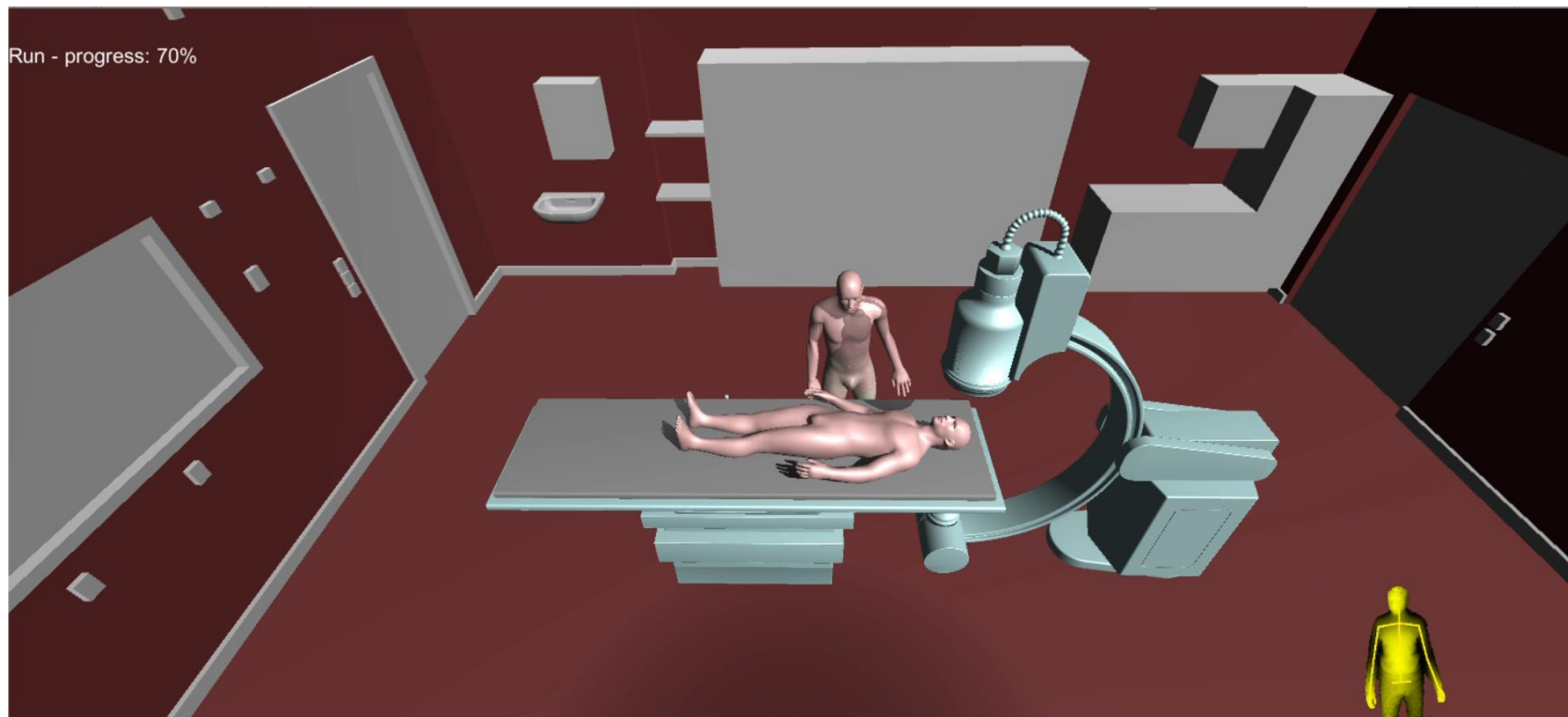
P A. Lombardo, F Vanhavere, A L. Lebacqz, L Struelens, and R Bogaerts.
"Development and Validation of the Realistic Anthropomorphic Flexible (RAF)
Phantom" *Health Phys.*, 114(5), pp 486-499, 2018.

WP2 – Fantômes numériques anthropomorphiques

IPP: Interactive Posture Program



Connection entre le Kinect et le RAF

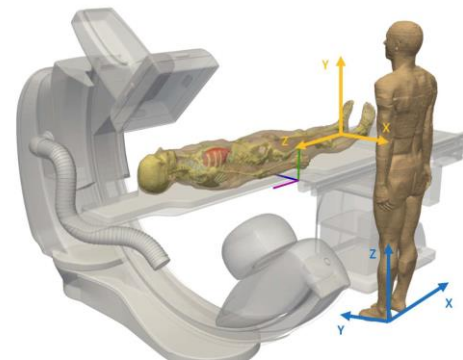
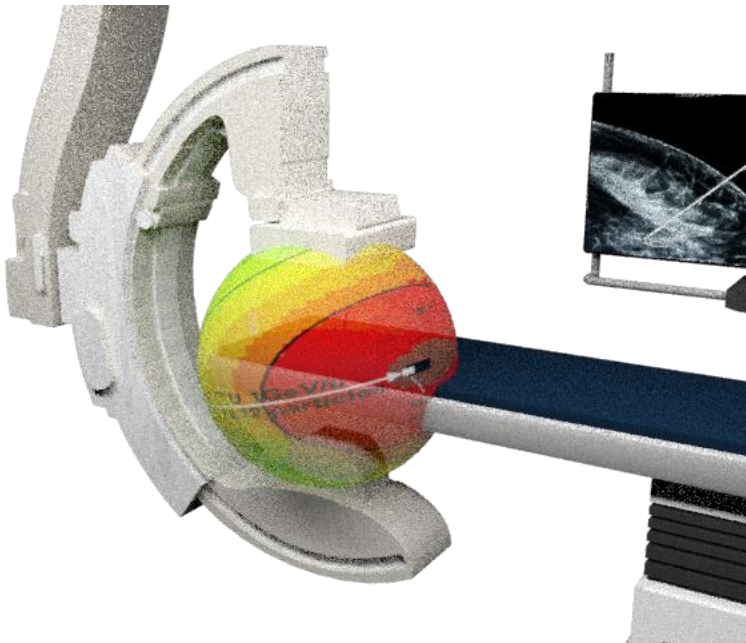


- Simulation Monte Carlo directe
 - Codes rapides: développement et validation
 - PENELOPE/penEasyIR: Accélération des simulations (~ 0.5 min/événement)
 - Calcul de la distribution fluence d'énergie des photons et application des facteurs de conversion
 - MCGPU-IR: accélération des simulations (~ 0.5 min/événement)
 - Résultats en termes de $H_p(10)$, dose d'organe et dose efficace
 - MCNP
- Tables de correspondance pré-calculées

WP2 – Calcul de la dose: Radiologie interventionnelle

Tables de correspondance pré-calculées avec MC

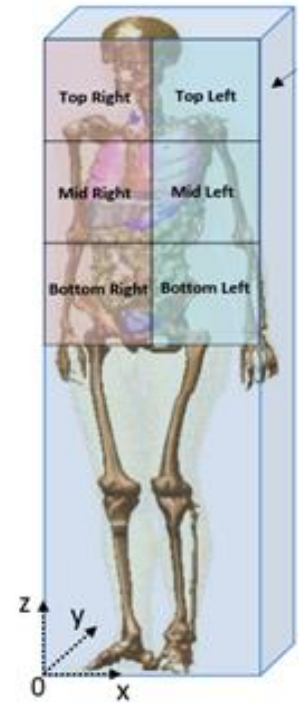
- Table de la source avec fluence, énergie et angle des photons en fonction des paramètres de la source de rayonnement
 - Sur sphère de diffusion avec 70 cm diamètre autour de l'isocentre
 - Fluence normalisée par KAP



WP2 – Calcul de la dose: Radiologie interventionnelle

Tables de correspondance pré-calculées avec MC

- Table avec facteurs de conversion de la fluence en dose d'organe en fonction de l'énergie et de l'angle des photons, du panneau de champs et de l'organe
 - Faisceau mono-directionnel et mono-énergétique
 - 6 sections de champs
 - 9 angles horizontales
 - 5 angles verticales
 - 12 énergies de 10 à 120 keV
 - Tous les organes contribuant à la dose efficace



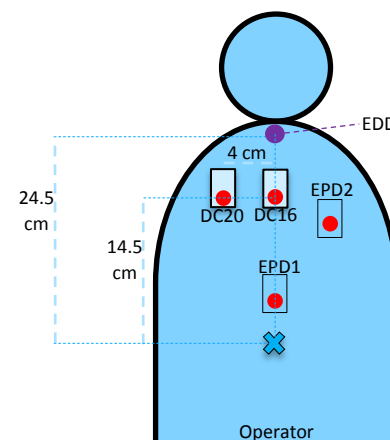
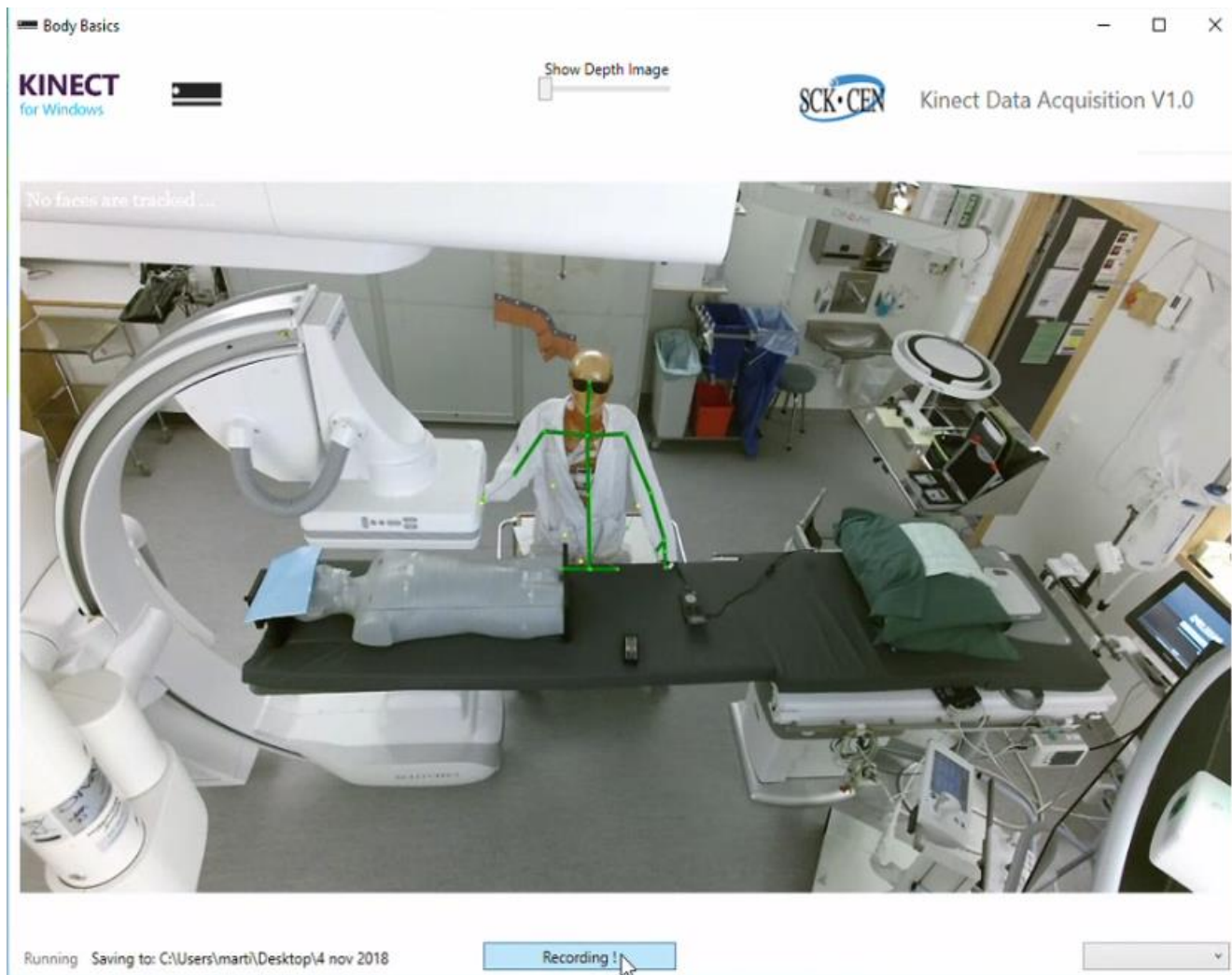
WP2 – Calcul de la dose: champs neutroniques

Tables de correspondance pré-calculées avec MC

- Possible de pré-calculer une carte de débit de dose efficace
 - La plupart des champs neutroniques sont constants dans le temps ou ne changent que d'intensité
 - La plupart des champs neutroniques ont un gradient spatial limité
- ⇒ Calcul de carte de débit de dose efficace en deux étapes
- Calcul des distributions de fluence d'énergie et angle des neutrons
 - Multiplication avec facteurs de conversion de la fluence en dose aux organes

WP4 – Radiologie interventionnelle

Tests cliniques avec fantômes



WP4 – Radiologie interventionnelle

Tests cliniques avec fantômes

- Validations des méthodes de calcul de dose

⇒ Bon accord entre $H_p(10)$ simulé et mesuré avec dosimètres

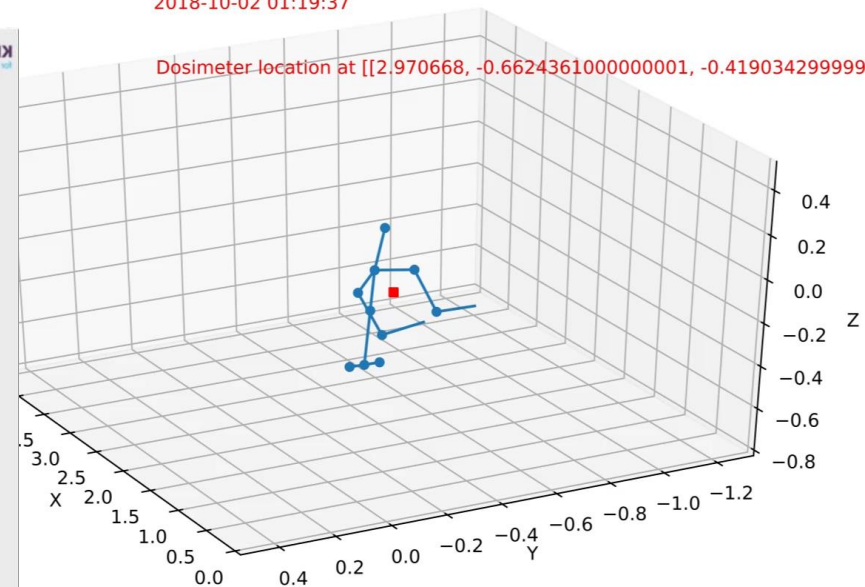
- PENELOPE/penEasyIR / measured: 0.6 – 1.2
- MCGPU-IR / measured: 0.6 – 1.1
- Tables de recherche / measured: 0.8 – 1.4

Tests cliniques



2018-10-02 01:19:37

Dosimeter location at [(2.970668, -0.6624361000000001, -0.4190342999999999)]



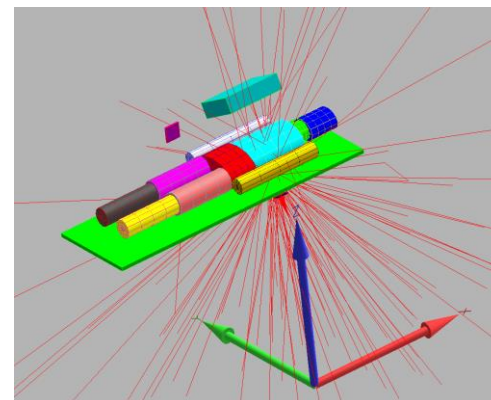
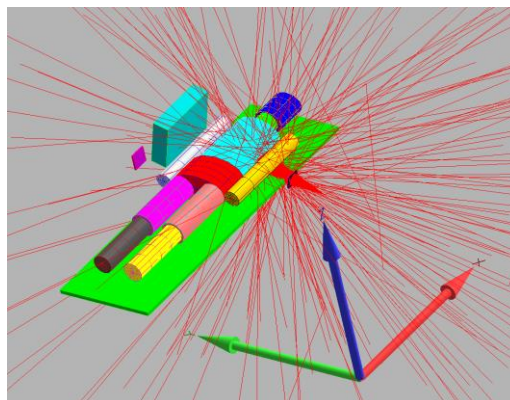
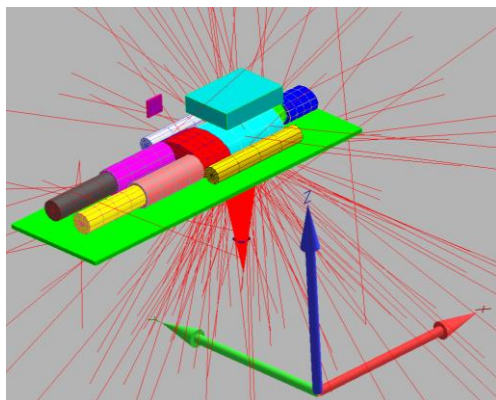
WP4 – Radiologie interventionnelle

Tests cliniques pour des procédures réelles

- Pour 5 cas réels, les doses ont été mesurées avec des dosimètres passifs et actifs et simulés avec les différentes techniques de simulation
- Parfois difficile de comparer simulations et mesures
 - Utilisation d'écran de protection
 - Doses très faibles
 - Position exacte du dosimètre inconnue
- Accord raisonnable entre les différentes méthodes de simulation et les mesures avec des dosimètres
- Fort gradient de dose sur le corps

Validation Clinique: Résultats

Validation Case	Simulations Accumulated $H_p(10)$	Measured EPD Accumulated $H_p(10)$	Diff.
Clinical Experiments			
CHU-Liège Case 4	38 μSv	23 μSv	~1.65
SJH Case B	7.7 μSv	5 μSv	~1.54
SJH Case C	68.3 μSv	55 μSv	~1.24



WP5 – champs neutroniques Installations pour validation



Laboratoire d'étalonnage dosimétrique
avec source de neutrons Am-Be
modérés par des réservoir d'eau

=

Champs de travail simulés
Bien caractérisés



Conteneur de transport avec
combustible MOX utilisé dans
une zone contrôlée

=

Véritable champs de travail
Mal caractérisé

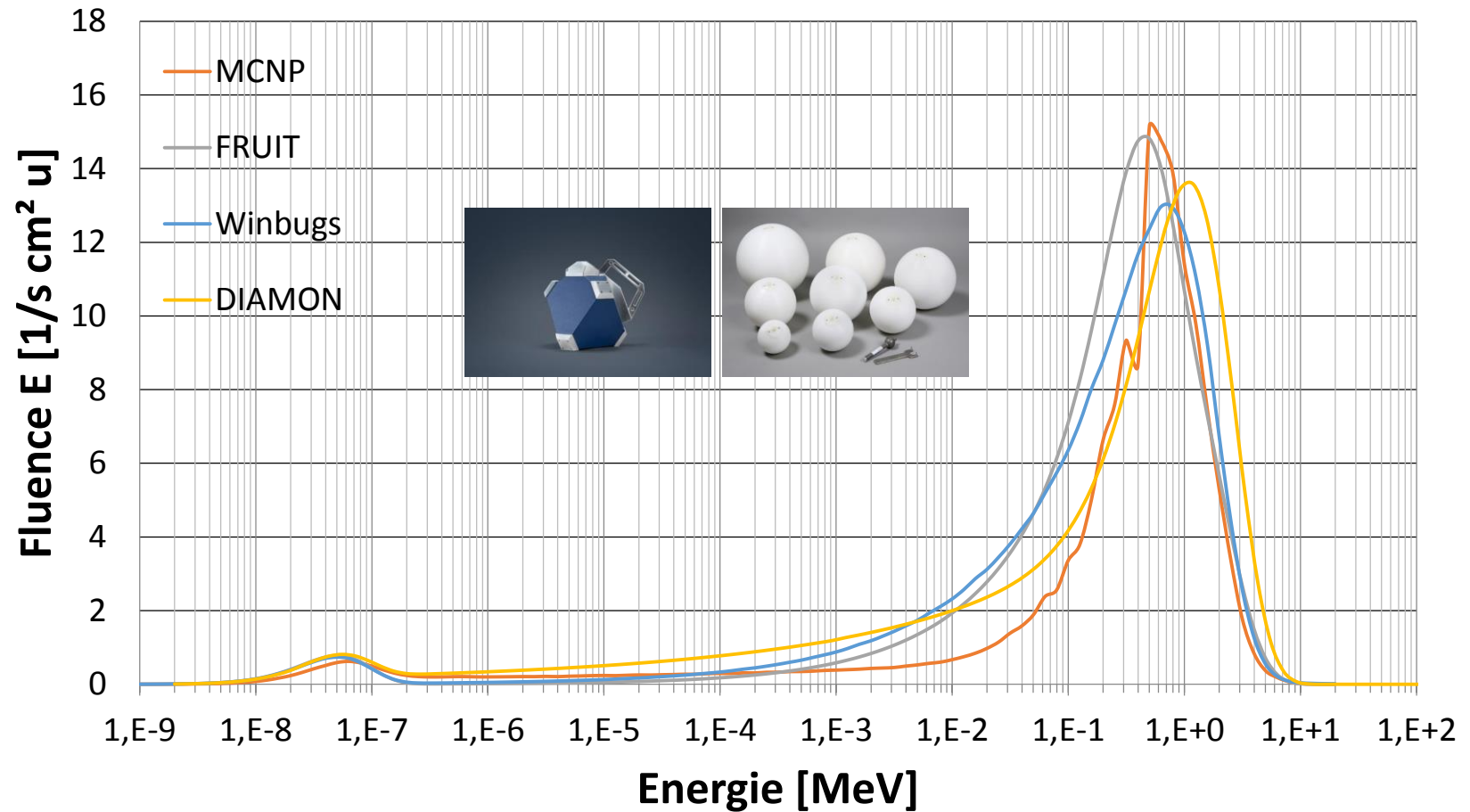
WP5 – champs neutroniques

Surveillance du personnel avec une seule caméra



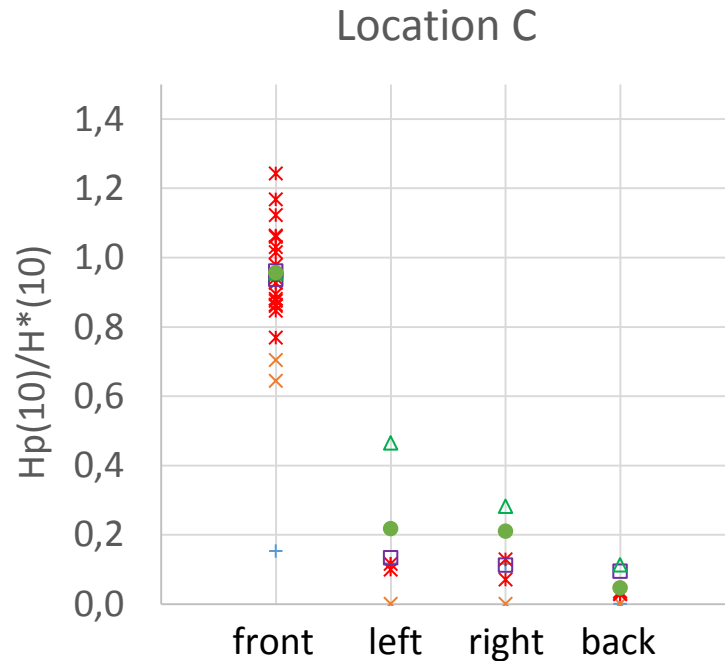
WP5 – champs neutroniques

Validation des simulations par des mesures

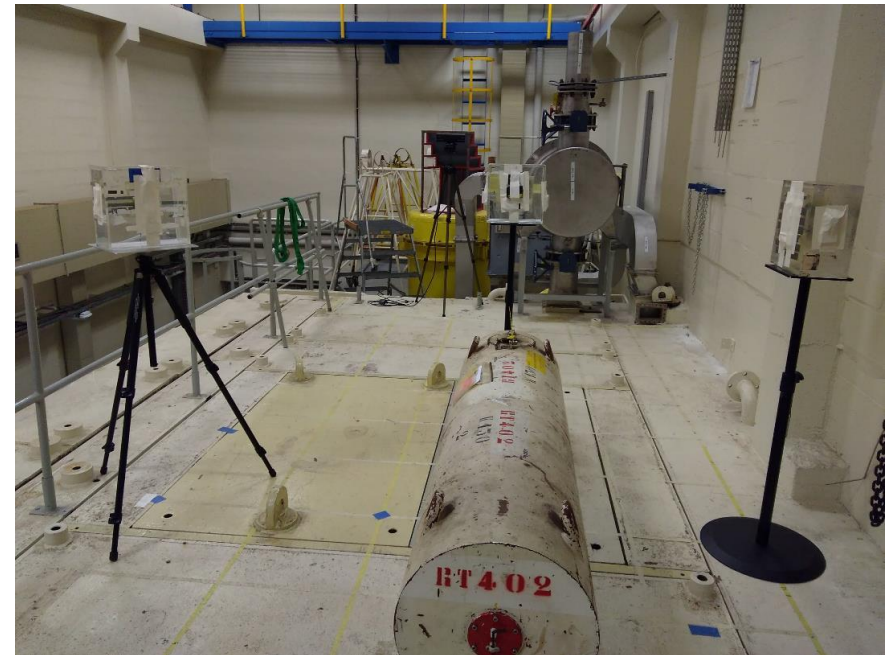


WP5 – champs neutroniques

Validation des simulations par des mesures



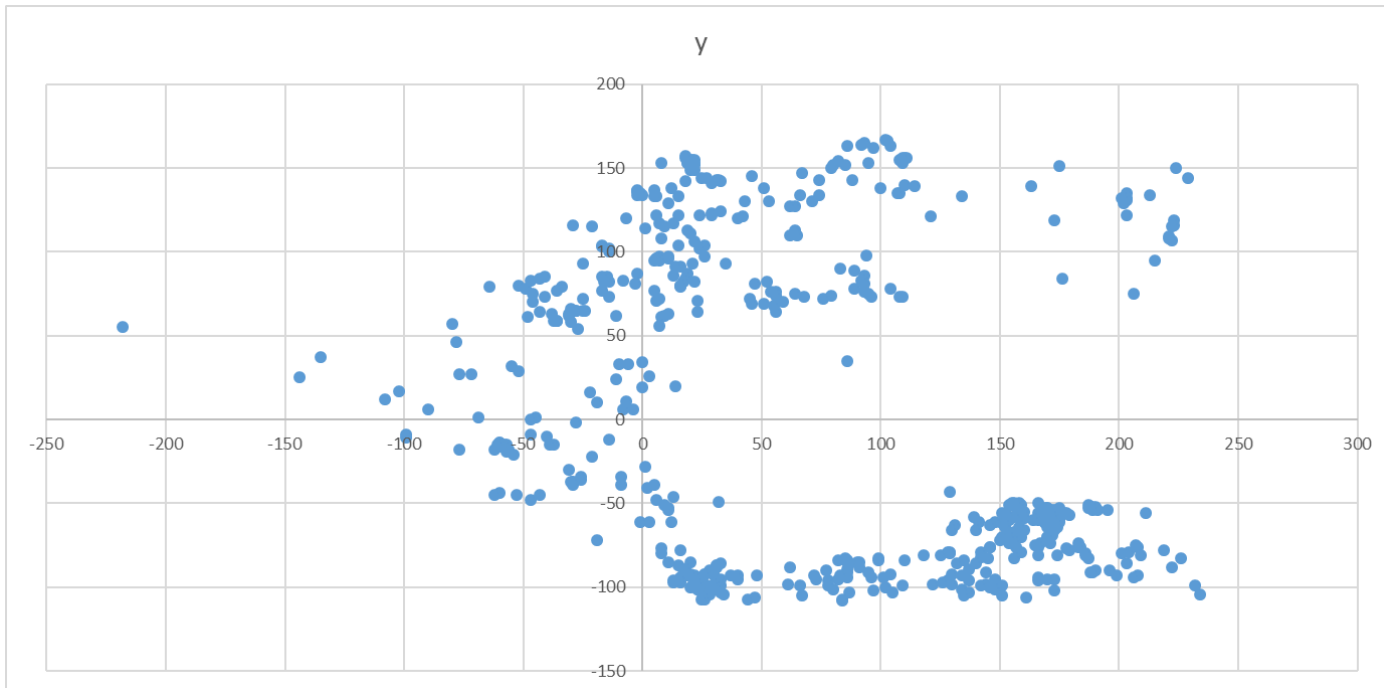
+ Cavendish × Landauer × PHE
■ DSTL △ EPD ● MCNP



WP5 – champs neutroniques

Application de l'approche PODIUM

- Surveillance du personnel pendant les mesures
- Carte avec le débit de dose simulé
- Calcul de dose automatique avec un script Python
- Dose réaliste de 7 μSv pour 10 minutes de surveillance



- La dosimétrie computationnelle peut résoudre les problèmes des dosimètres personnels:
 - la faisabilité de la dosimétrie computationnelle est démontrée
- La technologie est disponible pour:
 - Suivi des personnes à surveiller
 - Calcul rapide des doses
 - Fantômes détaillés et personnalisés
- Nouvel outil de formation et ALARA

- Suivre les écrans de protection, tube rayon-X et autres objets pertinents
- Communication directe avec la machine à rayon-X
- Les aspects de protection de la vie privée, d'éthique, de protection des données, les questions juridiques et les aspects de sécurité informatique doivent être clairement définis pour toute solution future
- Etudier la faisabilité dans d'autres champs de travail (médecine nucléaire, ...)
- Etudier l'exploitation potentielle
 - Dosimétrie officielle
 - Outil pour ALARA
 - Outil pour formation

L'équipe PODIUM



HelmholtzZentrum münchen

Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

**ST. JAMES'S
HOSPITAL**
DUBLIN, IRELAND



**LUND
UNIVERSITY**



EEAE ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΤΟΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
GREEK ATOMIC ENERGY COMMISSION



**Public Health
England**

PODIUM is part of the CONCERT project. This project has received funding from the Euratom research and training programme 2014-2018 under grant agreement No 662287.