

The logo for IRSN, featuring the letters 'IRSN' in a bold, sans-serif font. The 'I', 'R', and 'S' are red, while the 'N' is blue.

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Evaluation des doses dues aux neutrons secondaires reçues par les patients traités par protonthérapie

**Rima Sayah, Florent Martinetti, Laurent Donadille,
Isabelle Clairand**

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN),
Fontenay aux Roses

Sabine Delacroix, Aurélien De Oliveira

Institut Curie – Centre de Protonthérapie d'Orsay (ICPO),
Orsay, France

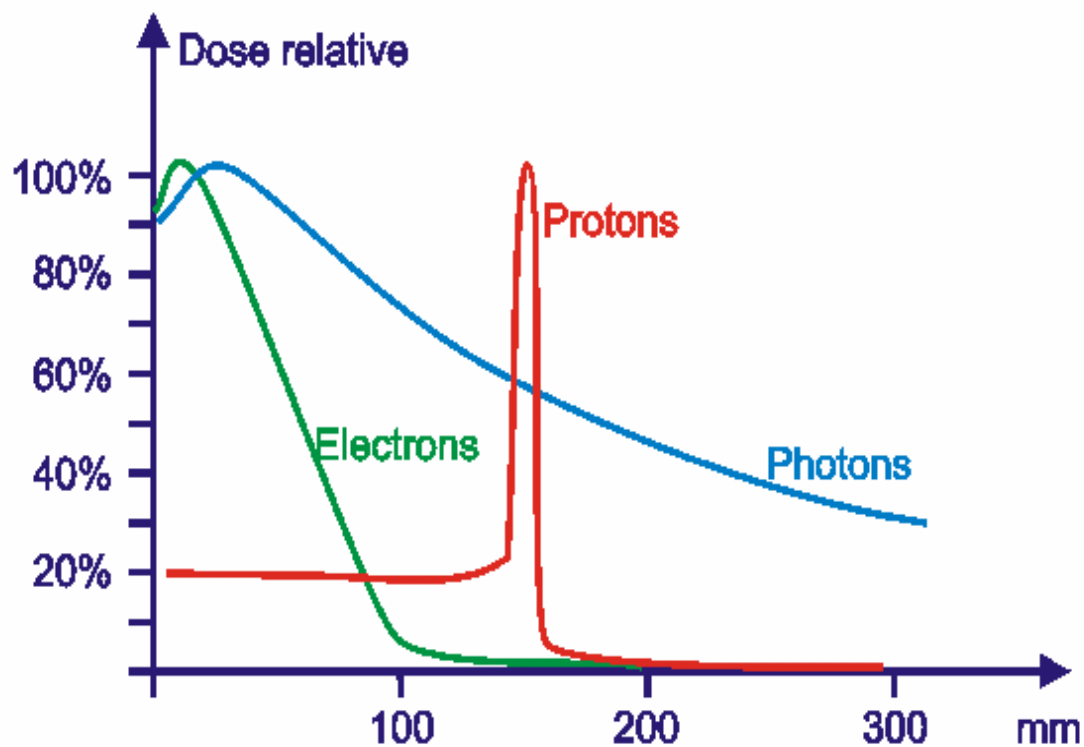
Joël Hérault

Centre Antoine Lacassagne (CAL)
Nice, France

The logo for Institut Curie, featuring two overlapping circles, one grey and one orange. Below the circles, the text 'institutCurie' is written in a sans-serif font, with 'institut' in grey and 'Curie' in orange. At the bottom, the slogan 'Ensemble, prenons le cancer de vitesse.' is written in a smaller font.

LA PROTONTHERAPIE - Intérêt des protons

- Dépôt d'énergie max en fin de parcours : **PIC DE BRAGG**.
- Faible pénombre latérale et distale → protection des tissus sains avoisinants la zone tumorale.
- Modulation du pic → pic de Bragg étalé permet une couverture homogène du volume cible.

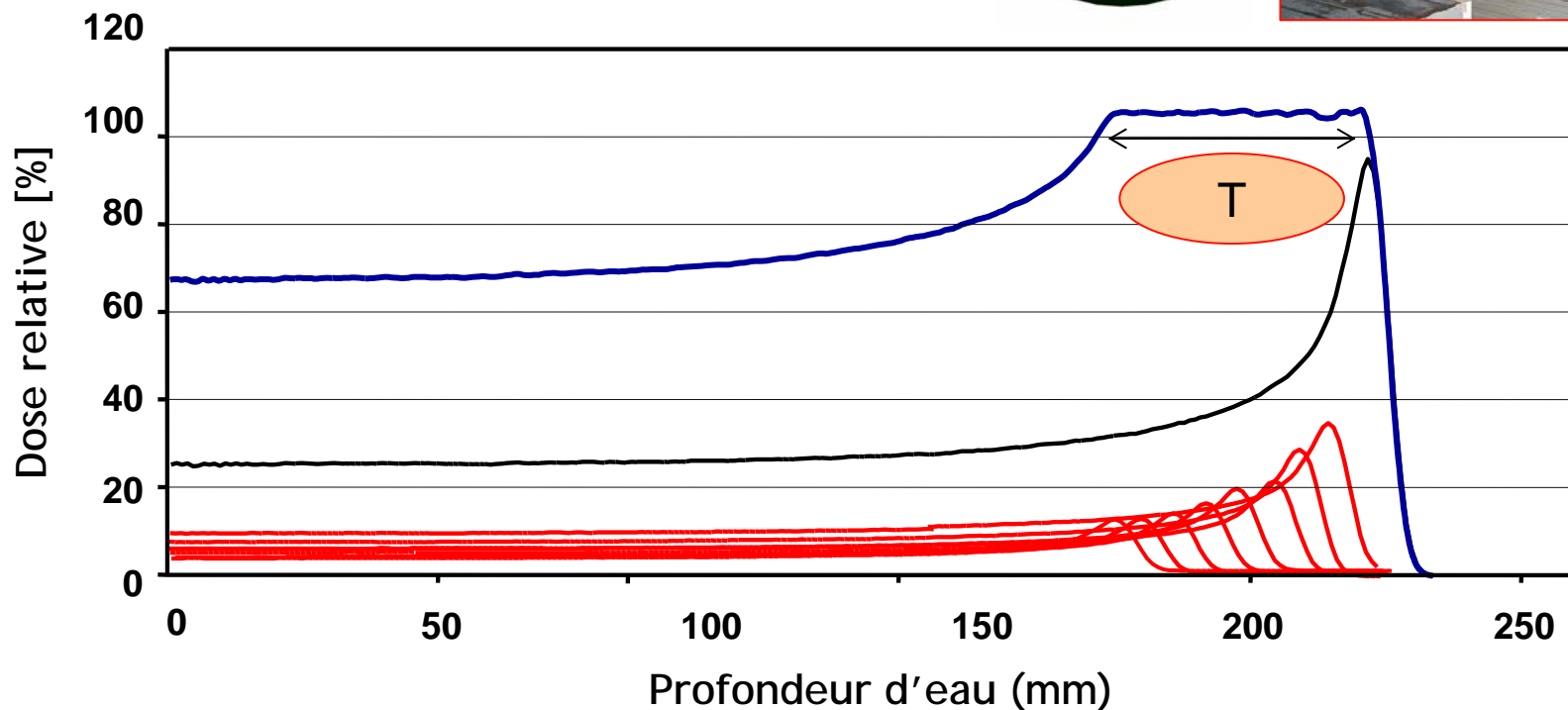


LA PROTONTHERAPIE - Mise en forme du faisceau

- Technique de diffusion passive, élargissement distal du pic de Bragg :

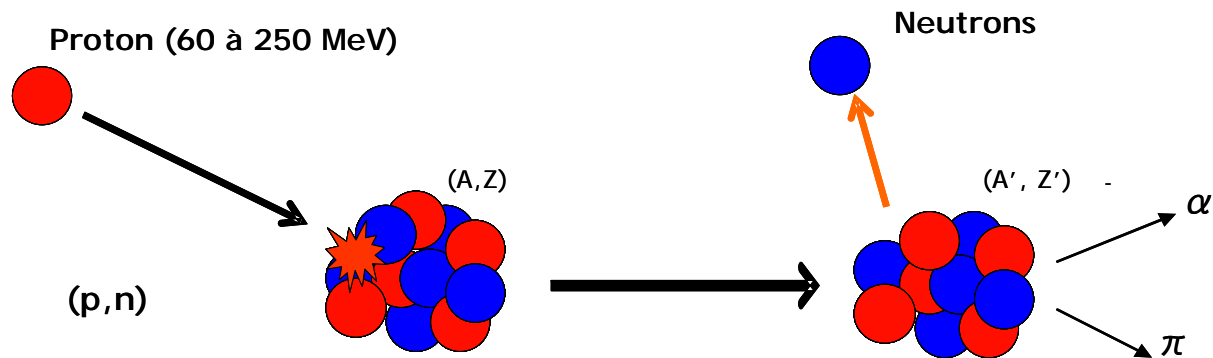
- Cumul pendant l'irradiation de plusieurs pics, situés à différentes profondeurs.

➔ Couverture homogène du volume cible

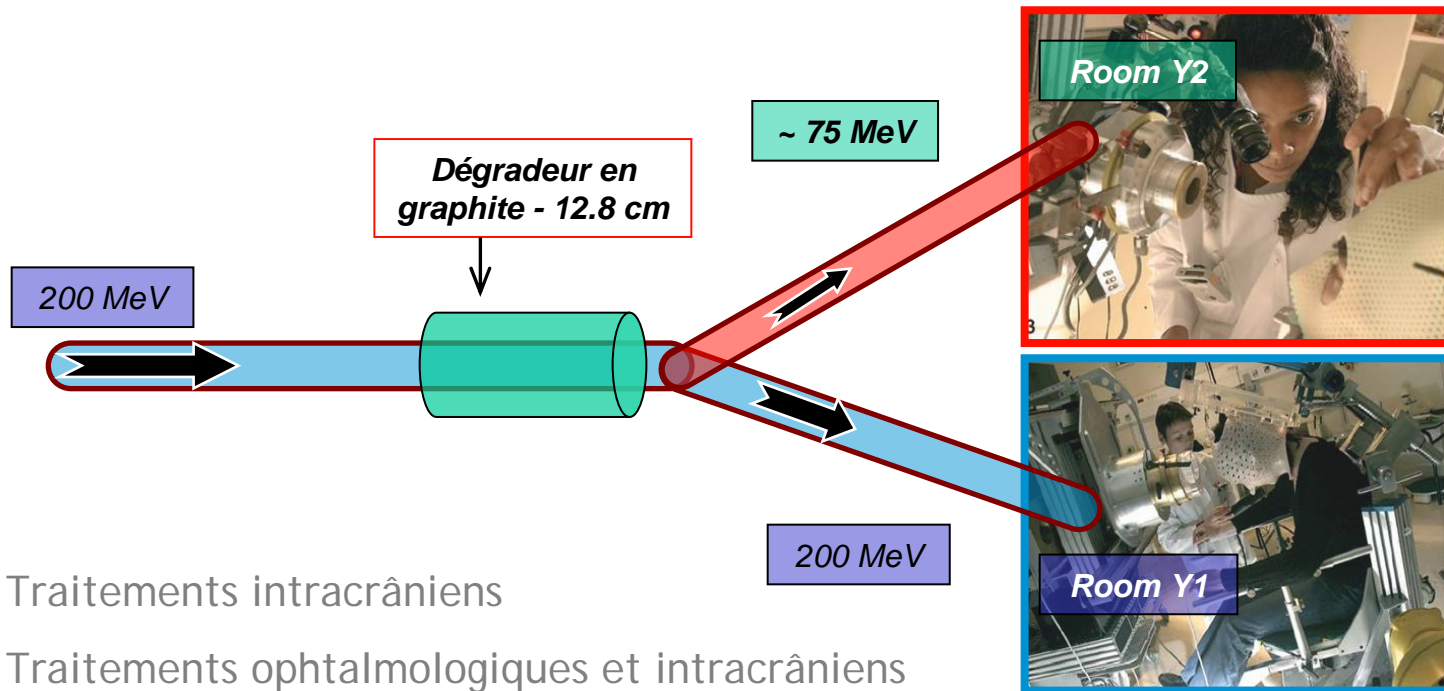


PROBLEMATIQUE

- Production de **particules secondaires** (neutrons +++) au cours du TT
- Niveaux de dose secondaire aux organes du patient ?



L'INSTITUT CURIE - CENTRE DE PROTONTHERAPIE D'ORSAY (ICPO)



- Salle Y1: Traitements intracrâniens
- Salle Y2: Traitements ophtalmologiques et intracrâniens
- Nouvelle salle contenant un bras isocentrique en cours d'installation
- Thèse F.Martinetti (2006-2009): Estimation des doses dues aux neutrons secondaires pour les traitements ophtalmologiques en salle Y2

1 - MODELISATION MONTE-CARLO DE LA LIGNE DEDIEE AUX TRAITEMENTS OHPTALMOLOGIQUES DE L'ICPO (LIGNE + FAISCEAU + SALLE)



2 - VALIDATION DU MODELE DOSE DEPOSEE PAR LES **PROTONS** DANS UN FANTOME D'EAU



3 - VALIDATION DU MODELE EQUIVALENT DE DOSE AMBIANT DÛ AUX **NEUTRONS** DANS LA SALLE DE TRAITEMENT



4 - ESTIMATION DES DOSES SECONDAIRES DÛES AUX **NEUTRONS** AU SEIN D'UN FANTÔME ANTHROPOMORPHE TYPE RANDO-ALDERSON → VALIDATION DU MODELE



5 - ESTIMATION DES DOSES SECONDAIRES DÛES AUX **NEUTRONS** AU SEIN D'UN FANTÔME MATHEMATIQUE → DOSE AUX ORGANES

CALCULS MCNPX

→ MCNPX 2.6d

- Mode: n h p
- Quelques millions d'histoires simulées selon les calculs réalisés pour obtenir une erreur statistique < 5%

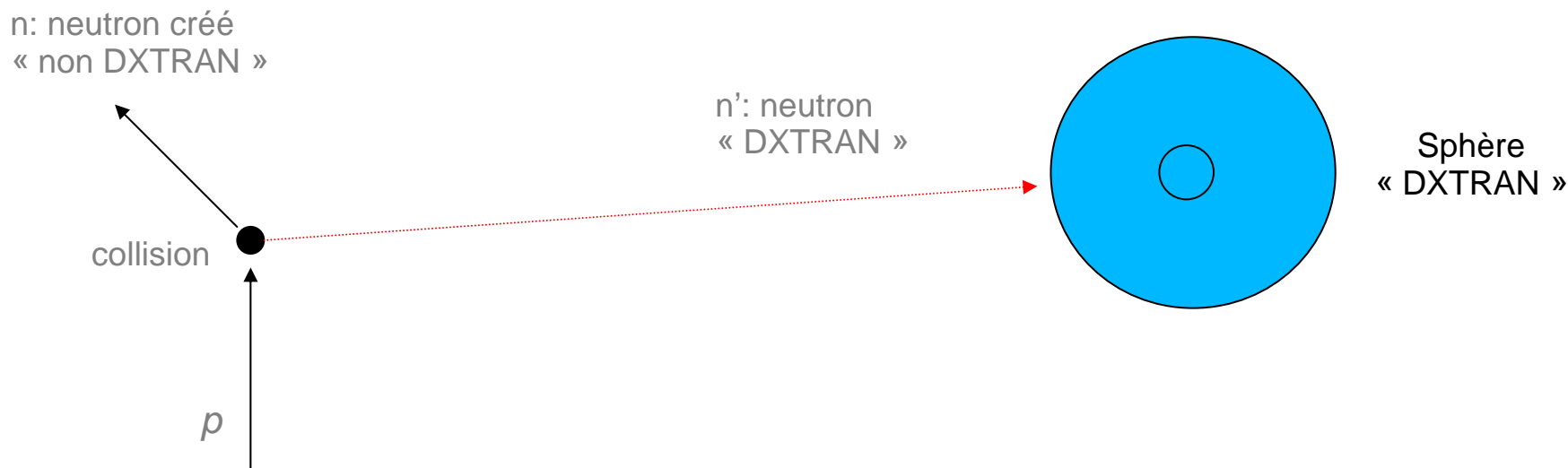
→ Librairies: LA150H, LA150N, MCPLIB04

→ Estimateurs (tallies):

- f6:h, f6:n,h pour les doses protons et neutrons
- f5:n pour les spectres neutrons
- f5:n x coefficients de conversion (ICRU 57) pour H*(10)
- Mesh tally pour les profils de Bragg et les cartographies de fluence

■ Méthodes de réduction de variance: sphère DXTRAN

TECHNIQUE DE REDUCTION DE VARIANCE: SPHERE DXTRAN

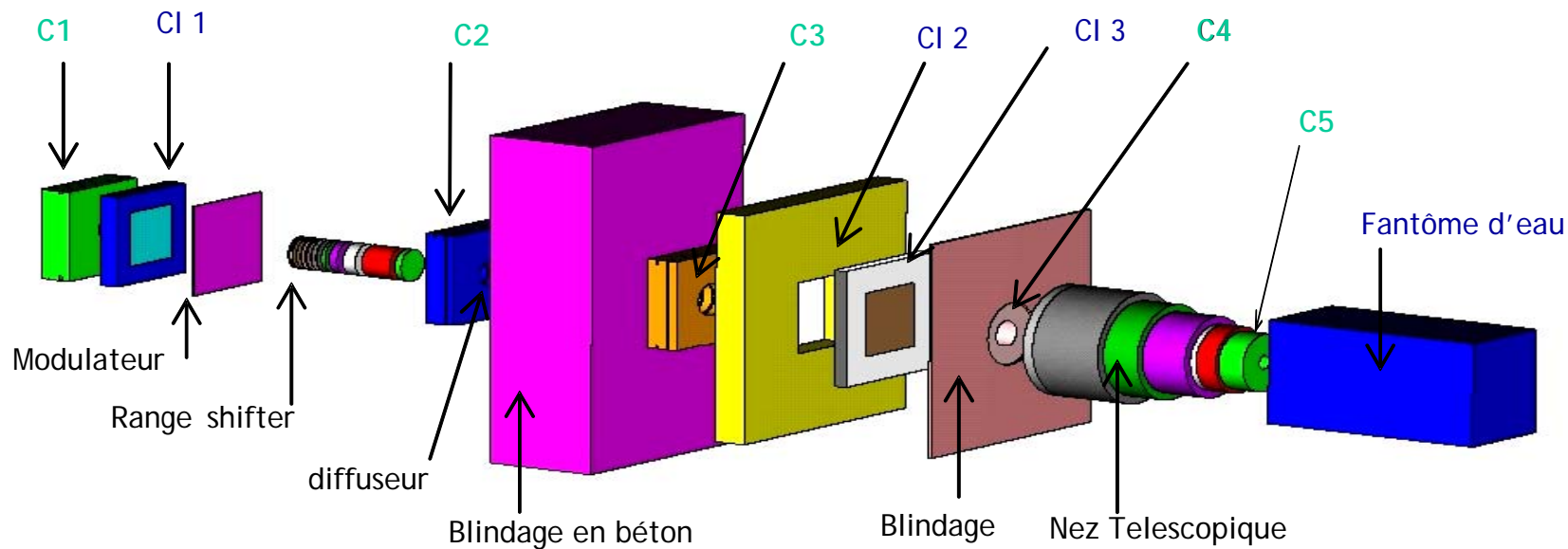


DXTRAN : technique de réduction de variance utilisée en conjonction avec un tally :

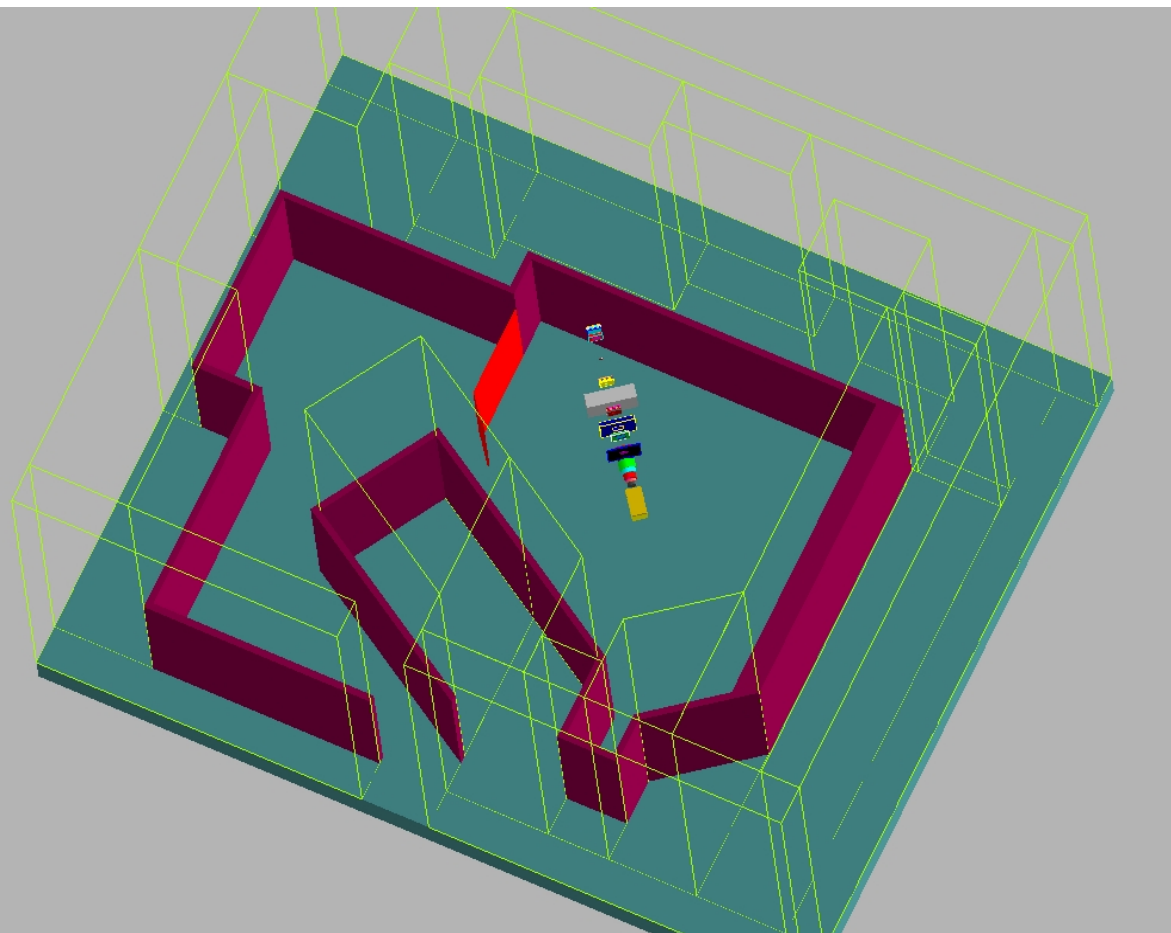
- ➔ Améliore l'échantillonnage dans une petite région d'intérêt (tally)
- ➔ Sphère DXTRAN = 2 rayons: R_{in} et R_{out}
- « Particule DXT » : transport déterministe vers R_o , sans collisions! (➔ *modif Weight*)
- « Particule non-DXT » : échantillonnage normal hors de la sphère

1 - MODELISATION MONTE-CARLO DE LA LIGNE Y2

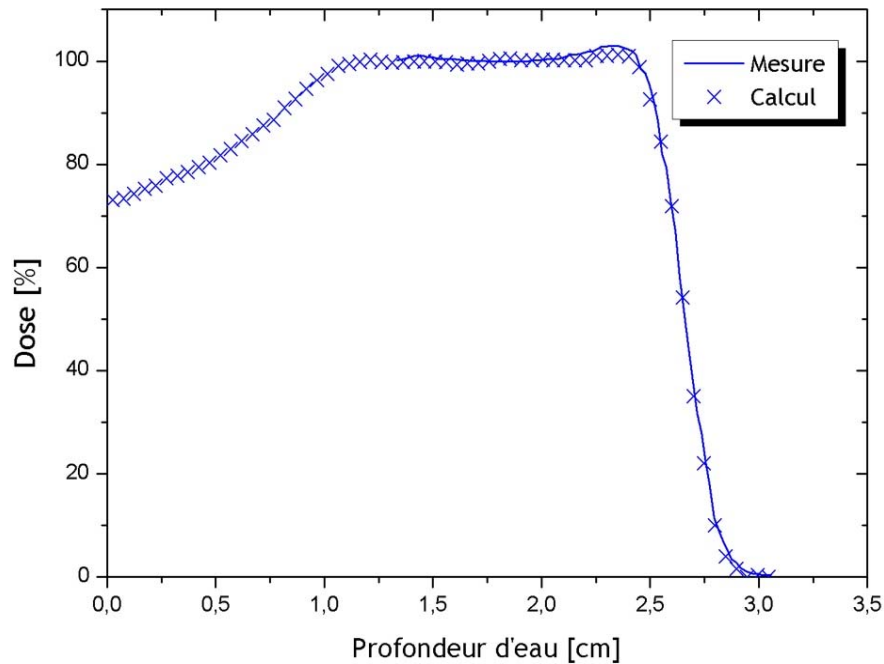
Monte Carlo code : MCNPX 2.6d



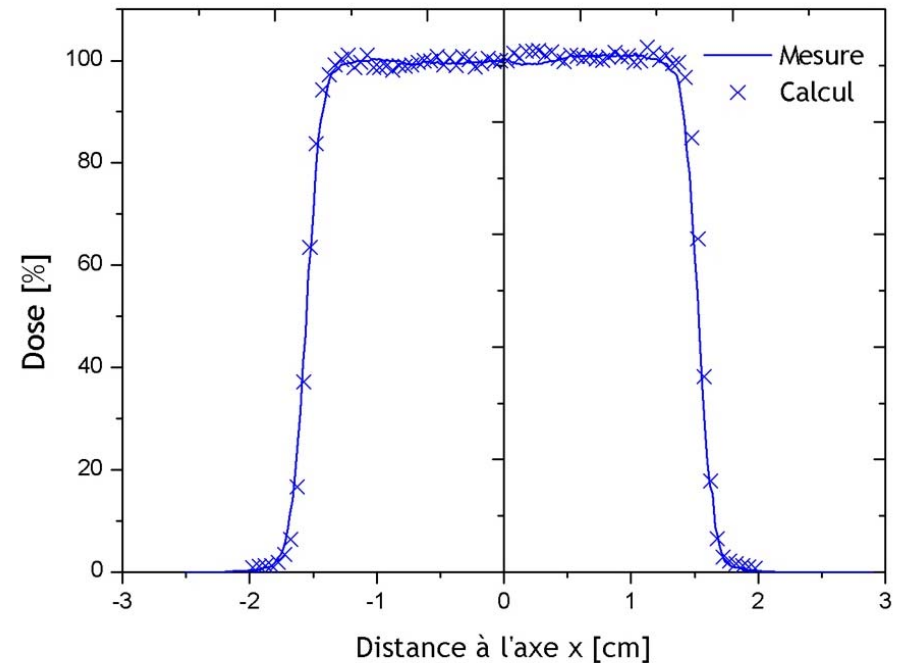
1 - MODELISATION MONTE-CARLO DE LA SALLE Y2



2 - DOSE DEPOSEE PAR LES PROTONS - COMPARAISON CALCUL/MESURE



BRAGG MODULE



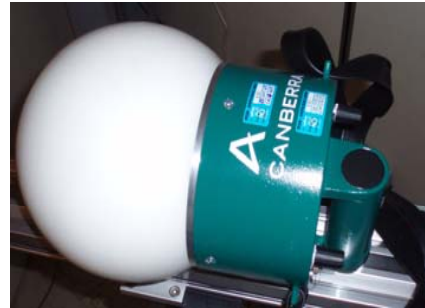
PROFIL LATERAL

- Bon accord entre le calcul et la mesure

3 - MESURE DE $H^*(10)$ DU AUX NEUTRONS - MATERIEL

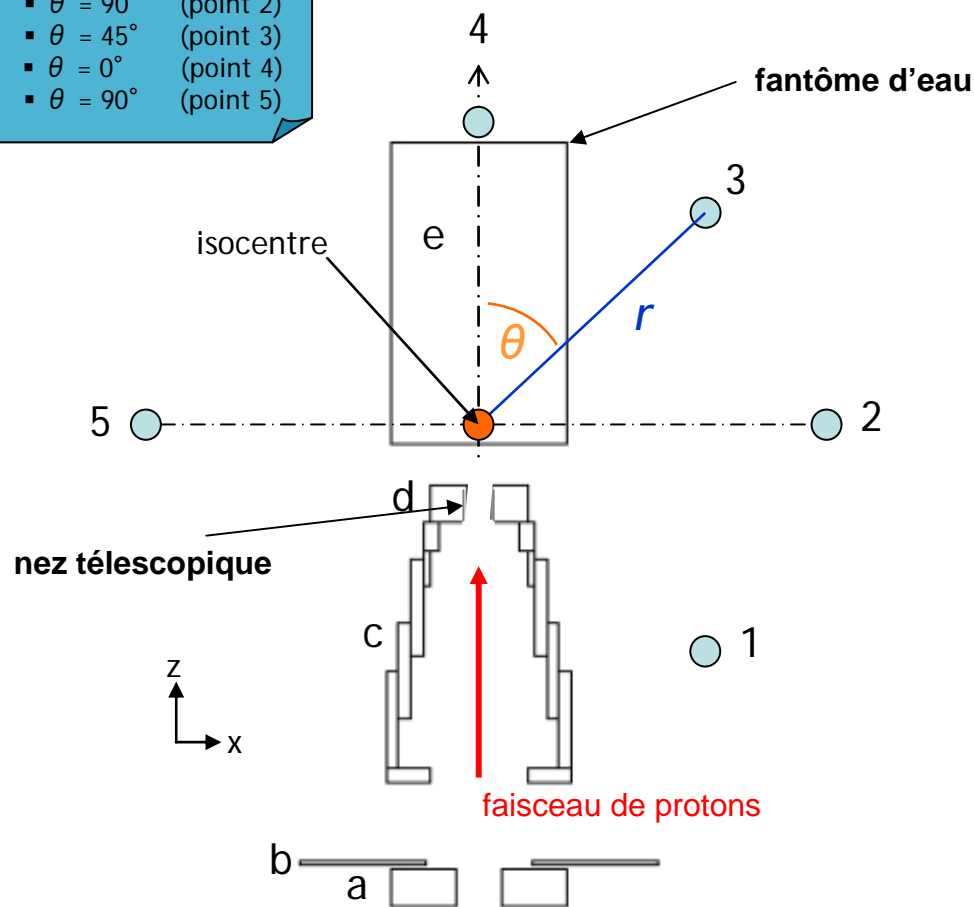
→ Radiamètres Neutrons :

- Berthold
- Harwell
- Wendy-2
- Cramal 31
- HAWK



3 - MESURE DE $H^*(10)$ dû aux neutrons - METHODE

- $\theta = 135^\circ$ (point 1)
- $\theta = 90^\circ$ (point 2)
- $\theta = 45^\circ$ (point 3)
- $\theta = 0^\circ$ (point 4)
- $\theta = 90^\circ$ (point 5)

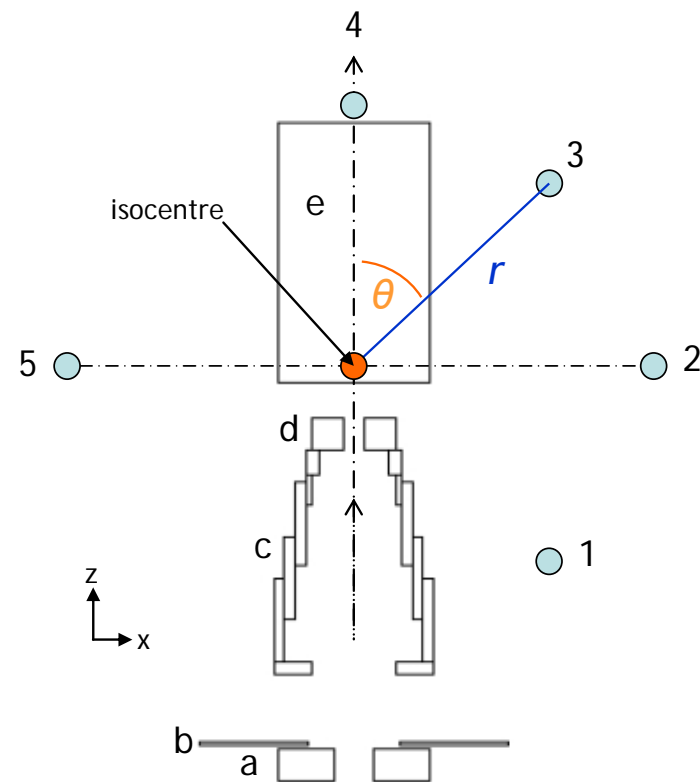
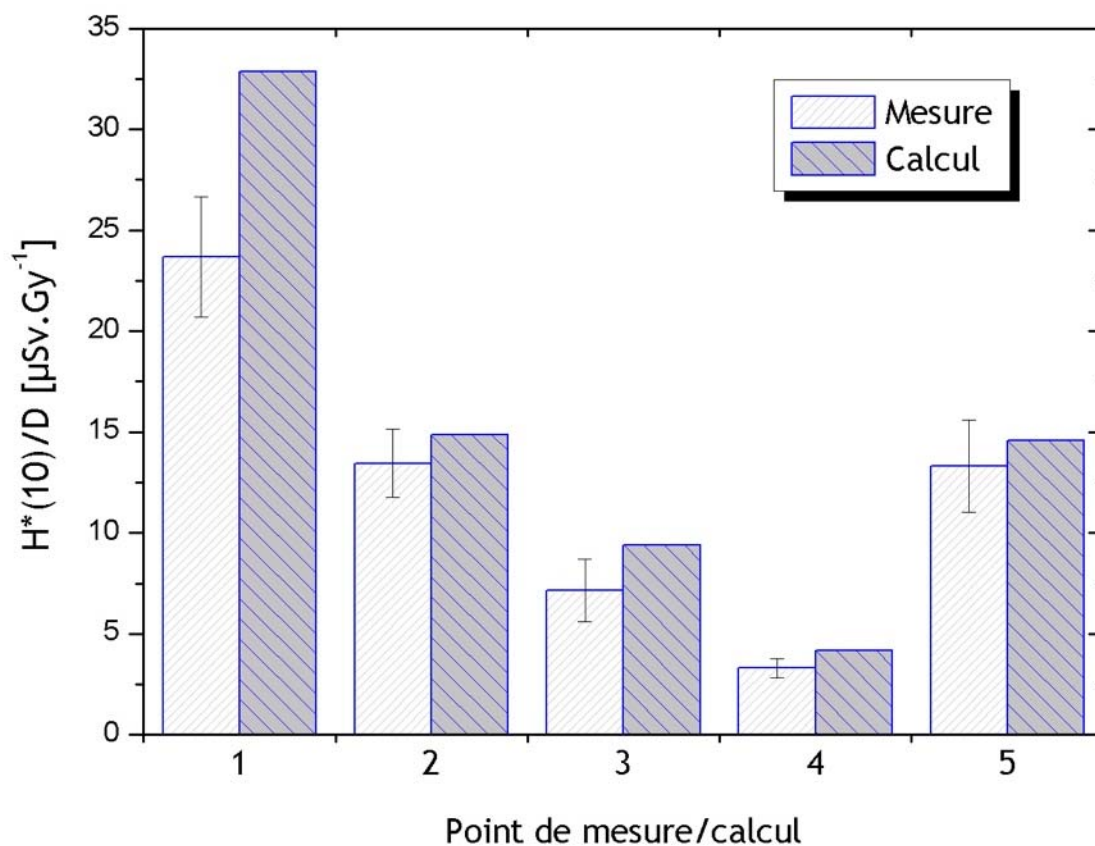


➔ MESURES :

- Autour de l'isocentre à une distance $r = 100 \text{ cm}$ / l'isocentre et pour cinq angles θ / à la direction du faisceau
- Conditions modulées

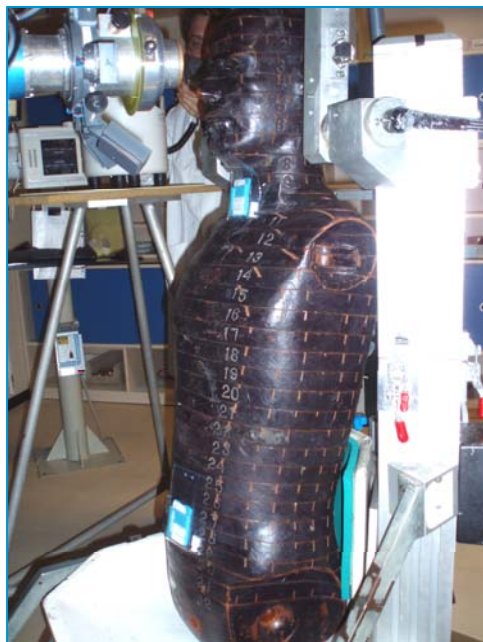
3 - RESULTATS - COMPARAISON CALCUL/MESURE

➔ 5 points autour de l'isocentre :



4 - DOSE AU SEIN D'UN FANTÔME RANDO - MATERIEL & METHODE

→ Détecteurs Neutrons : CR-39 (IPN, Orsay)



Points de mesure
Œil non traité
ME
Thyroïde D
Thyroïde G
Poumon D
Poumon G
Ovaire D
Ovaire G



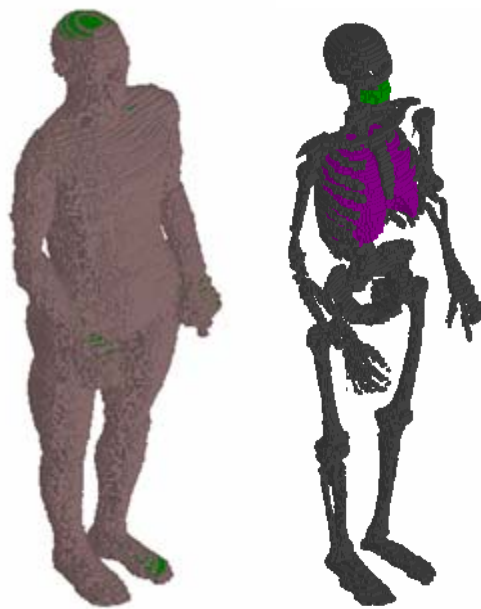
4 - DOSE AU SEIN DU FANTOME RANDO - MATERIEL & METHODE

- fantôme implémenté sans les bras et les jambes
- calculs de doses aux mêmes points que les points de mesure

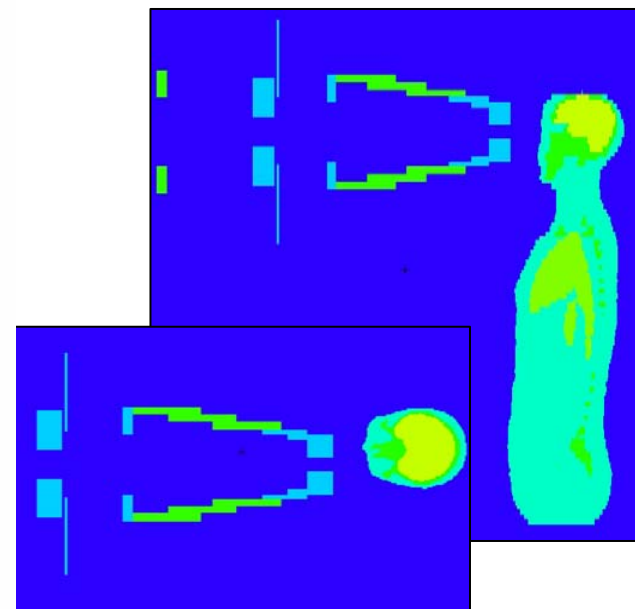
Mannequin lors des mesures



Mannequin voxélisé

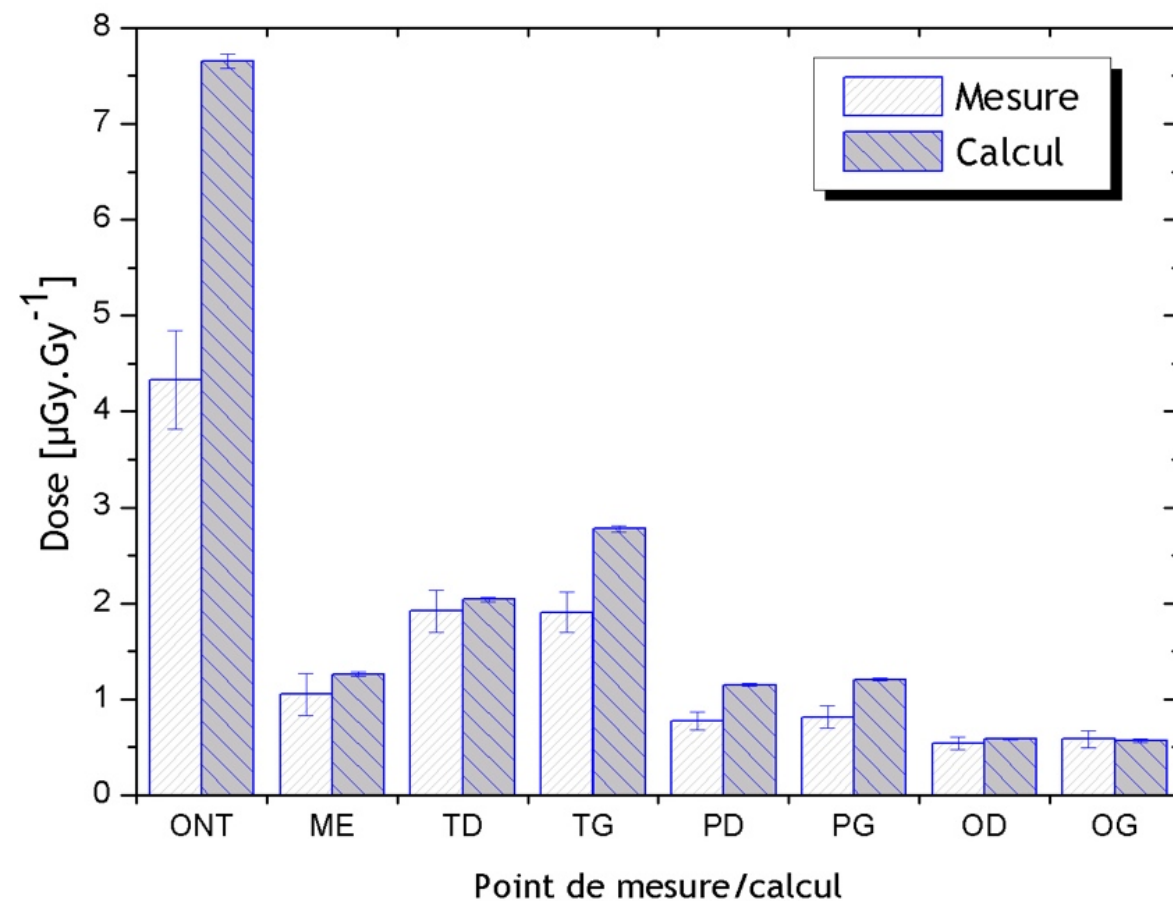


Mannequin intégré au modèle de la salle Y2



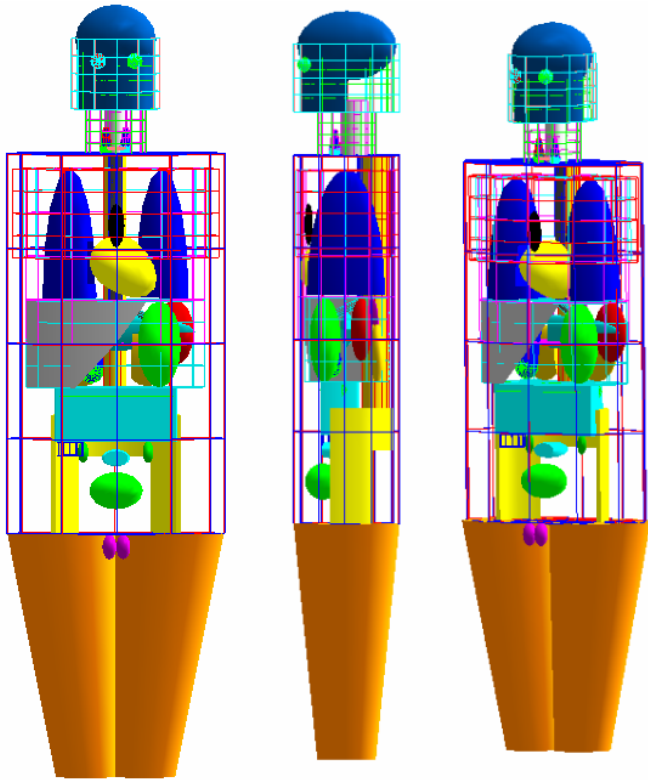
4 - DOSE AU SEIN DU RANDO - RESULTATS DOSES NEUTRONS

→ COMPARAISON CALCULS / MESURES



Points de mesure
ONT: Œil non traité
ME: Moelle épinière
TD: Thyroïde D
TG: Thyroïde G
PD: Poumon D
PG: Poumon G
OD: Ovaire D
OG: Ovaire G

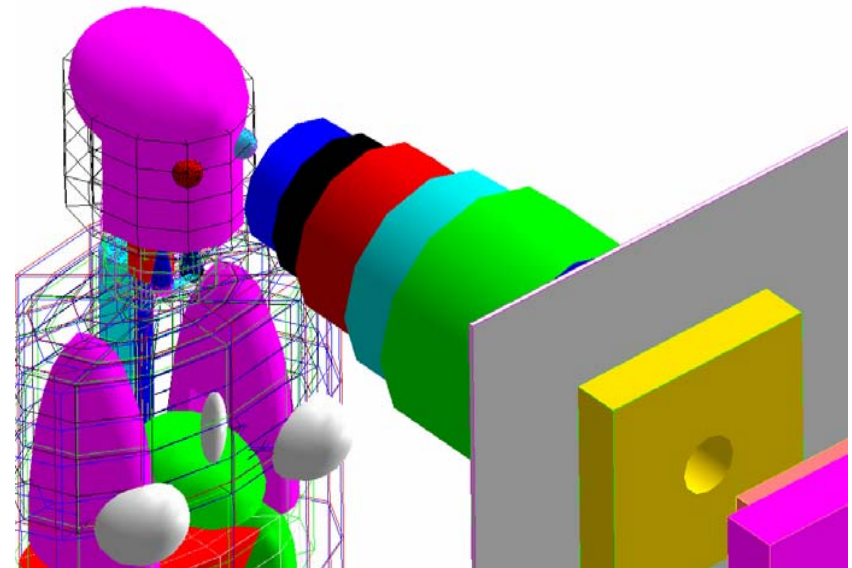
5 - DOSES AU SEIN DU FANTÔME MATHÉMATIQUE - MATÉRIELS ET MÉTHODES



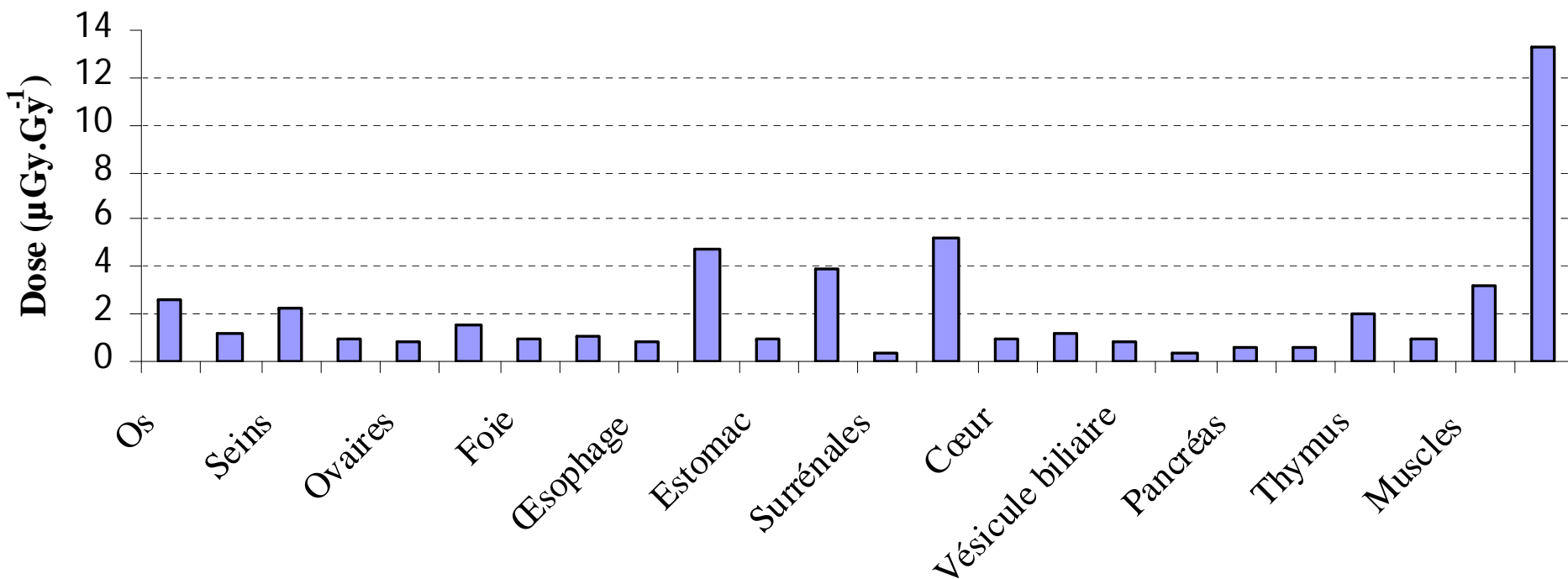
→ Fantôme mathématique: Modèle du MIRD modifié par Christy et Eckerman

→ Implémentation du fantôme dans le modèle MC de la salle Y2 :

- Ajout des yeux
- Simulation d'un traitement de l'œil gauche
- Calcul de la dose absorbée aux organes



5 - DOSES AU SEIN DU FANTOME MATHEMATIQUE - RESULTATS



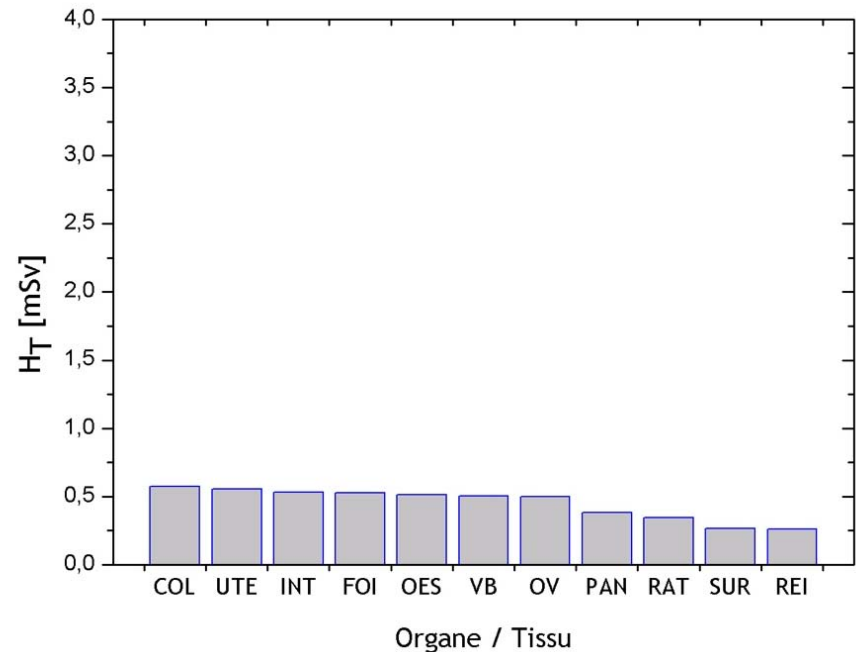
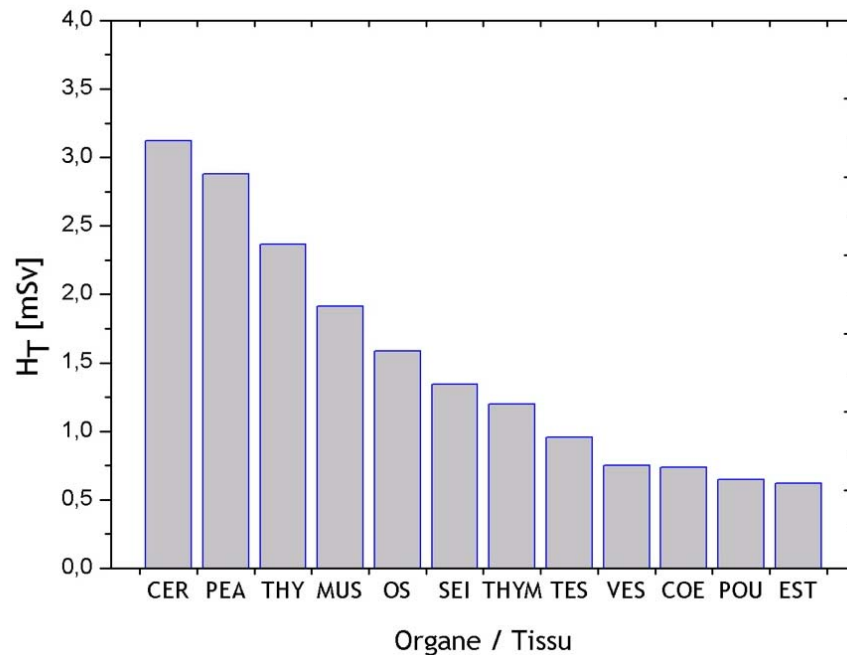
➔ Dose absorbée à l'œil non traité: $13.3 \mu\text{Gy}/\text{Gy}$

➔ Dose absorbée au cerveau: $5.2 \mu\text{Gy}/\text{Gy}$

5 - DOSE EQUIVALENTE AUX ORGANES, HT

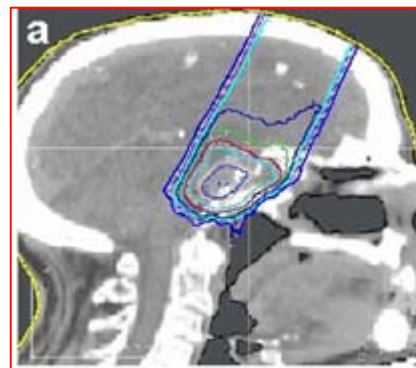
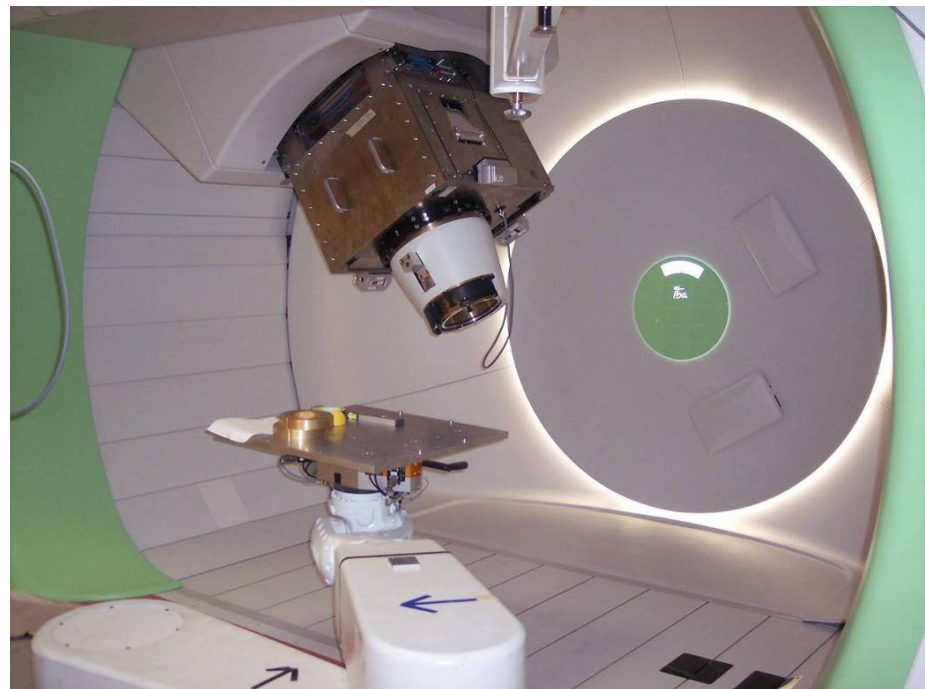
Pour un traitement complet (60 Gy eq. ^{60}Co):

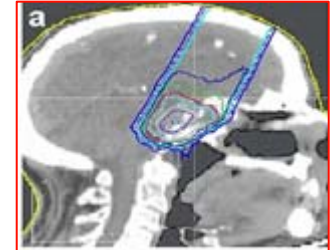
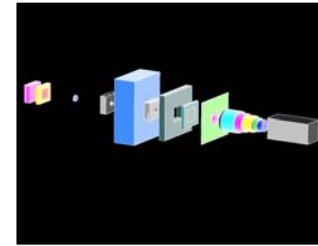
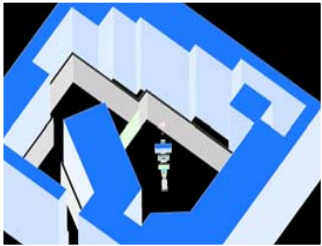
- $H_{\text{ONT}} = 8 \text{ mSv}$
- H_{T} ↘ lorsque la distance / zone traitée ↗
- $H_{\text{T}} > 1 \text{ mSv}$: Cerveau, Thyroïde, Seins, Thymus, Testicules ⇨ organes antérieurs
- $H_{\text{T}} < 0,5 \text{ mSv}$: oesophage, reins, surrénales, uterus,... ⇨ organes postérieurs



CALCUL DE DOSE DUE AUX NEUTRONS SECONDAIRES DANS LE CAS DE TRAITEMENTS INTRACRANIENS

- Thèse R.Sayah (2009-2012)
- Traitements intracrâniens (230 MeV) dans une nouvelle salle de l'ICPO contenant un bras isocentrique (IBA)
- Exploitation du modèle Monte-Carlo du bras isocentrique
- Même méthode que dans le cas des traitements ophtalmologiques
- Attention particulière aux traitements pédiatriques





Merci de votre
attention

