Méthodologie pour la détermination de la dose absorbée dans le cas des champs standards avec et sans hétérogénéités

Tony Younes (a,b,c), Phd Student

Laure Vieillevigne, PhD (a,b)

Georges Fares, PU PH (c)

a) Institut Claudius Regaud, Institut Universitaire du Cancer de Toulouse Oncopole

b) CRCT UMR 1037 INSERM Team15

c) Mount Lebanon Hospital

tony.younes@inserm.fr

UNIVERSITÉ TOULOUSE III PAUL SABATIER

Université de Toulouse

INSTITUT UNIVERSITAIRE DU CANCER DE TOULOUSE Oncopole

CRCT Centre de Recherches en Cancérologie de Toulouse ONCOPOLE

USJ 1875 Université Saint-Joseph de Beyrouth

Faculté des sciences Université Saint-Joseph de Beyrouth

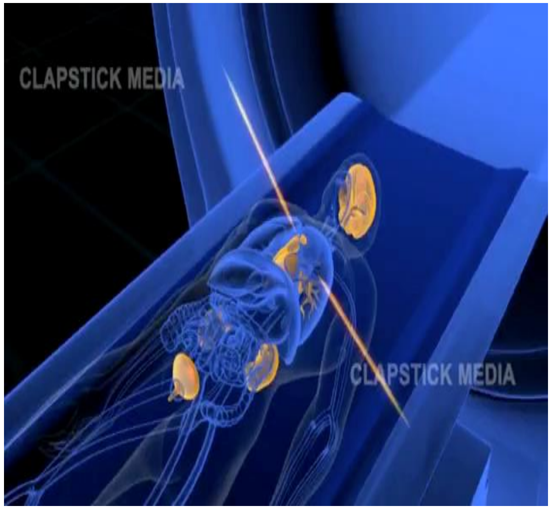
MOUNT LEBANON HOSPITAL GHARIOS MEDICAL CENTER

Introduction

- **Radiothérapie:**
  - TCP ↗
  - NTCP ↘

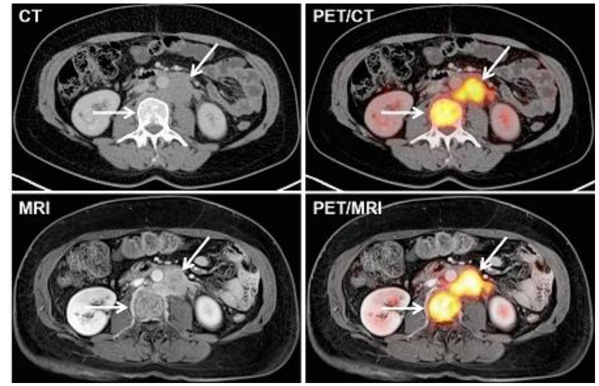
- **Radiothérapie externe**

- **Radiothérapie interne**

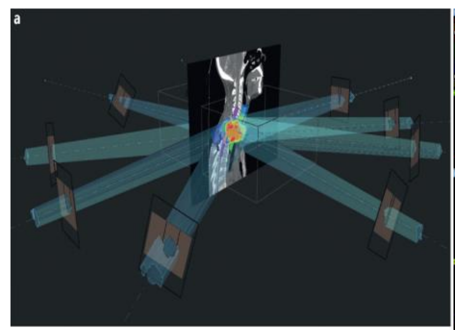


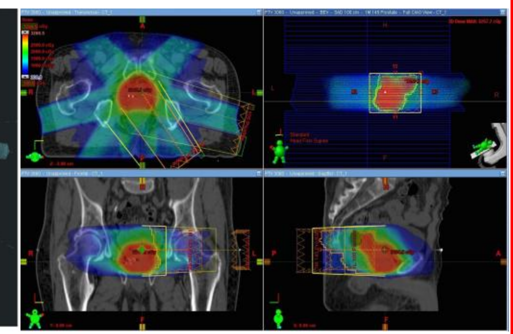
Etapes de traitement

- **Acquisition des images**
  - CT/PET/SPECT/IRM



- **Planification de traitement**
  - TPS/Algorithmes
    - Calcul de dose absorbée (Gy)





- **Traitement**

Introduction

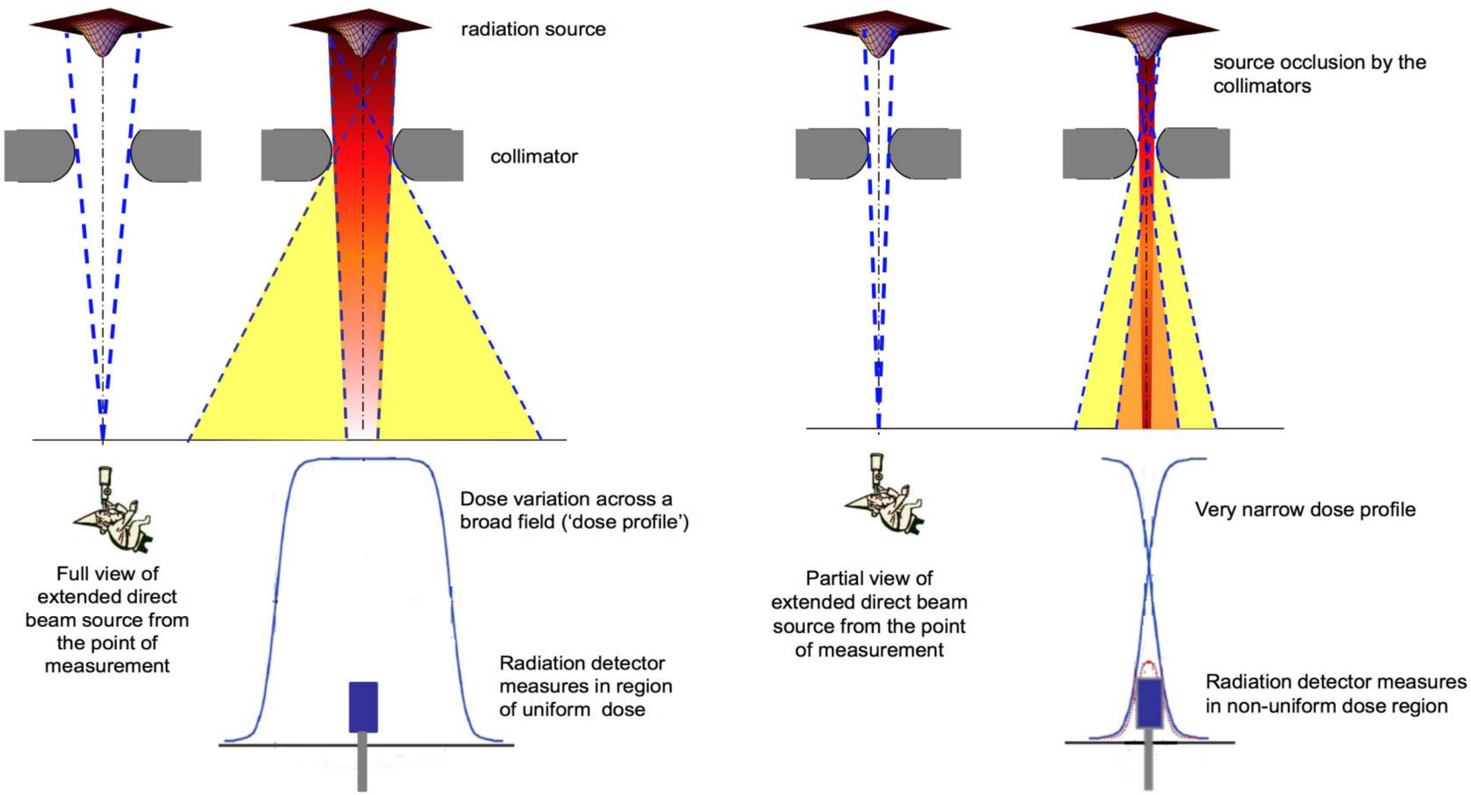
- **↗ des techniques de traitement basées sur les « petits champs » $\leq 3 \times 3\ cm^2$**
  - SBRT associée aux techniques IMRT/VMAT
  - Dose absorbée élevée par fraction avec des OARs proches

    \+ Hétérogénéités → + de précision sur le calcul de dose absorbée .

Nécessité de bien caractériser
la dosimétrie des petits champs

Problématique des petits champs 1

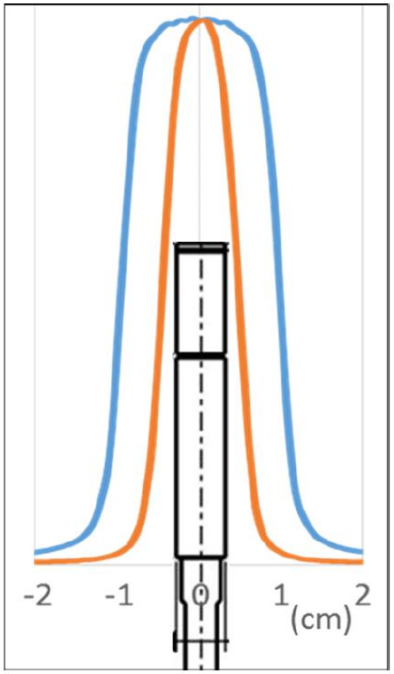
- **Taille de la source**

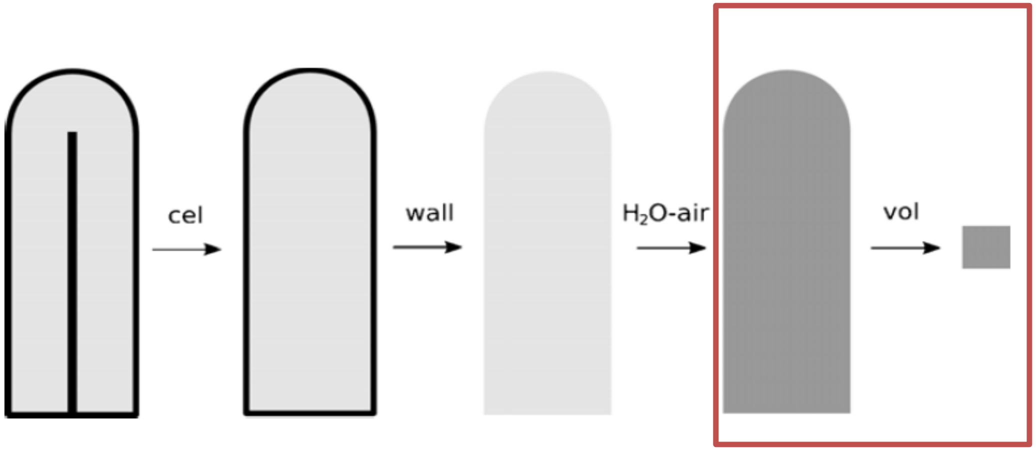


Problématique des petits champs 2

- **Taille et composition du détecteur**

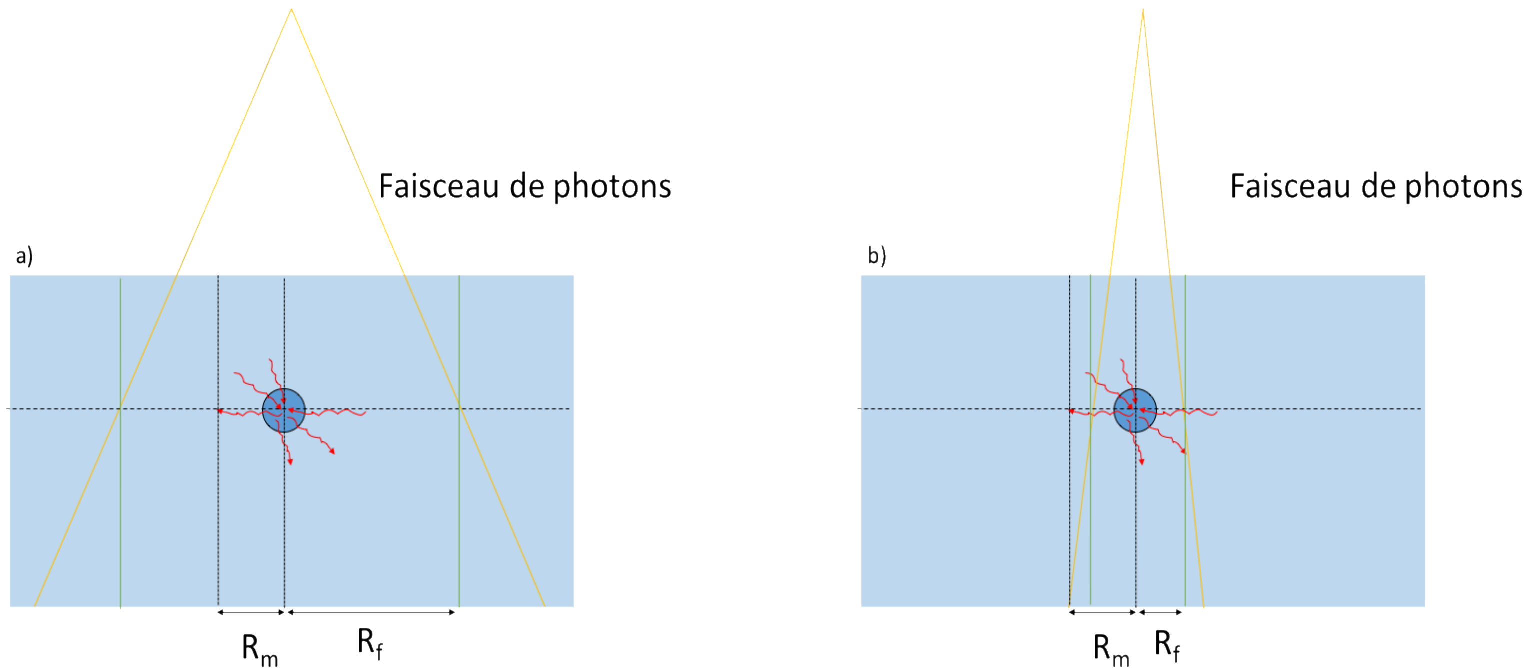
➔ Effet de moyennage volumique





Problématique des petits champs 3

- **Manque d'EEL: Facteur le plus critique**



- ➔ exacerbé quand on est dans des milieux de basse densité t.q poumons

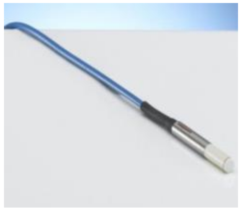
But 1: Mesures/Prétraitement

- **Sous c'est 3 conditions:**

$$\frac{D_1}{D_2} \neq \frac{M_1}{M_2} \xrightarrow[\text{Solution}]{\text{IAEA/AAPM}} \frac{D_{Q_{clin}}^{f_{clin}}}{D_{Q_{msr}}^{f_{msr}}} = \frac{M_{Q_{clin}}^{f_{clin}}}{M_{Q_{msr}}^{f_{msr}}} \times k_{Q_{clin},Q_{msr}}^{f_{clin},f_{msr}}$$

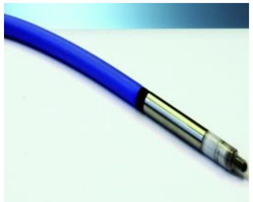
- $k_{Q_{clin},Q_{msr}}^{f_{clin},f_{msr}} = \frac{[D/M]_{clin}}{[D/M]_{msr}}$
  - Simulation MC
  - Dosimètre passive (Films EBT3, Alanine…)

PTW 60019
Microdiamond
sensitive volume: 0.004 mm³
Diamond $\rho = 3.52\ g/cm^3$



PTW 60017
Diode E
sensitive volume: 0.03 mm³
Silicon $\rho = 2.33\ g/cm^3$

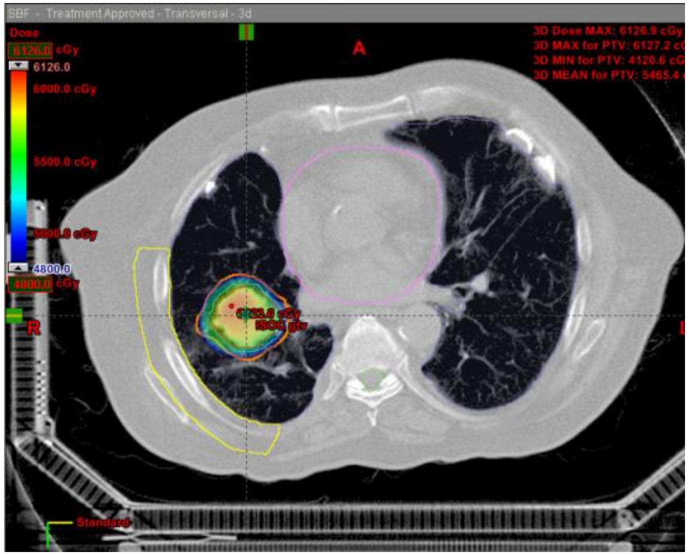
PTW 31016
Pinpoint
sensitive volume: 0.016 cm³
Air $\rho = 0.001225\ g/cm^3$

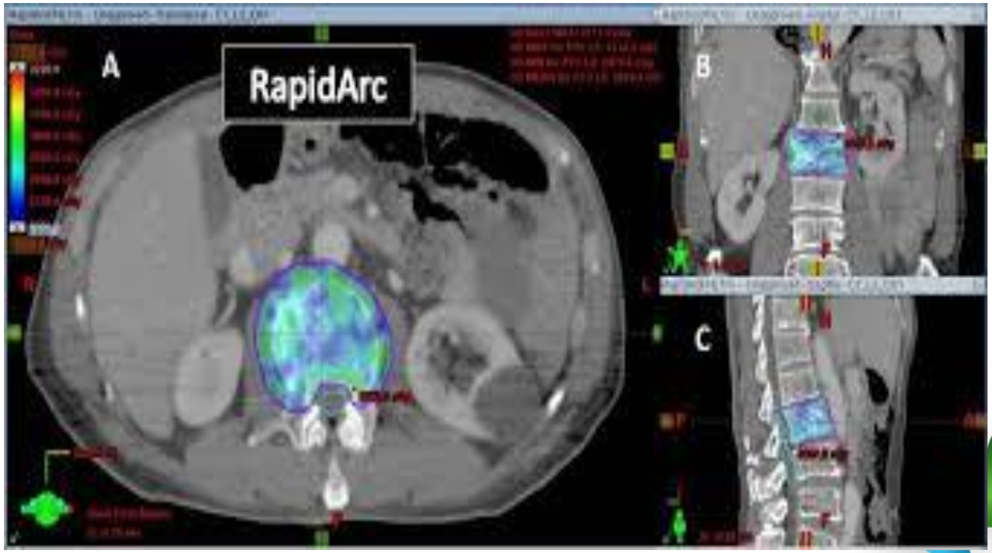


PTW 31022
Pinpoint
sensitive volume: 0.016 cm³
Air $\rho = 0.001225\ g/cm^3$

But 2: Calculs/Planification

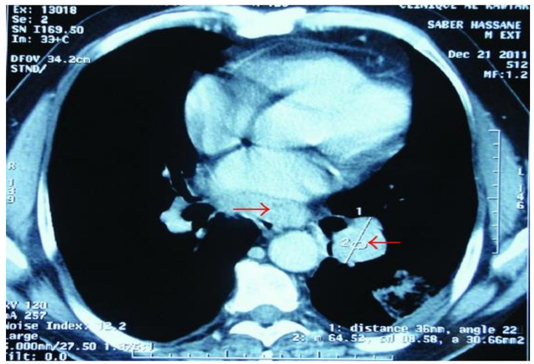
- **Evaluation des algorithmes de calcul de dose absorbée dans les conditions standard et dans les petits champs**
  - Eclipse TPS: AAA et AXB
  - Milieux de basse et haute densité





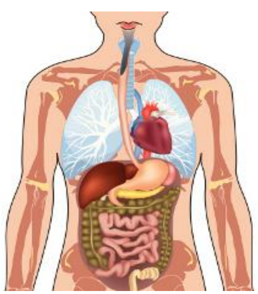
But 3: Relation entre les reports de dose absorbée (En cours)

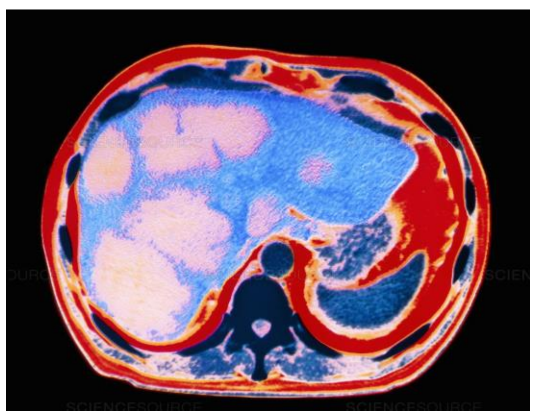
Algorithmes conventionnels



- Eau avec des densités électroniques différentes
- $D_w \neq E/m$ ✗

Monte-Carlo





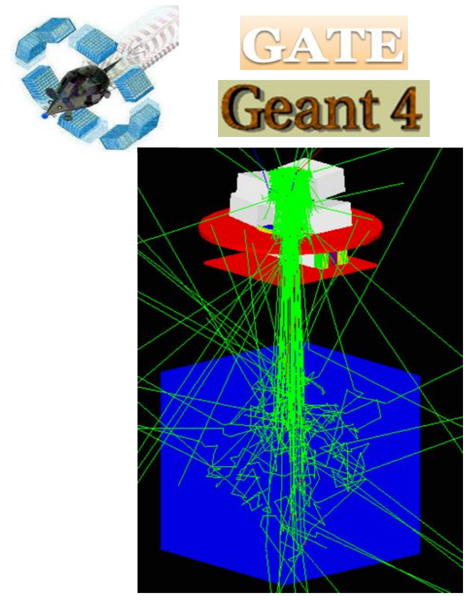
- Dose dans le « vrai » milieu biologique.
- $Ref: Dm = E/m$ ✓
- $D_m \rightarrow D_w$?

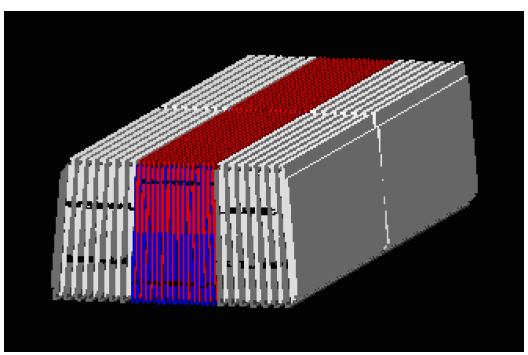
Acuros XB

- **5 matériaux biologique +** D_m **et** D_w

Matériels et Méthodes

- **Modélisation du TrueBeam STx**





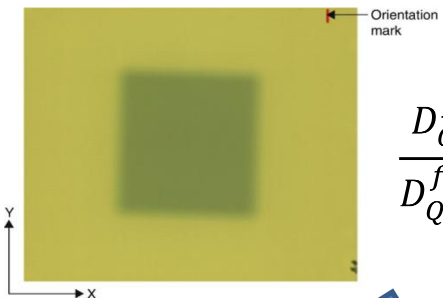
Matériels et Méthodes

Détermination des $k^{f_{clin},f_{msr}}_{Q_{clin},Q_{msr}}$

- MLC 0.5×0.5 cm^2 to 2×2 cm^2 : Jaws 3×3 cm^2
- MLC 2.5×2.5 cm^2 and 3×3 cm^2: Jaws 5×5 cm^2

- Champs de référence: 3×3 cm^2 (Dieterich, Daisy-chaining)

Méthode Empirique: Basée sur des mesures

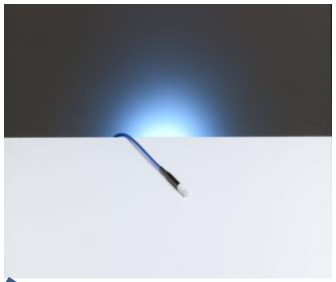


Radiochromic films EBT3 measurements

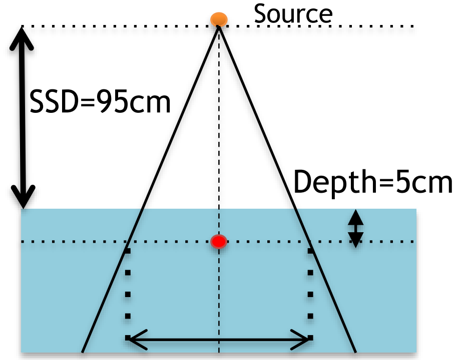
- EPSON Expression 10000XL scanner
- FilmQA Pro

$$\frac{D^{f_{clin}}_{Q_{clin}}}{D^{f_{10\times10}}_{Q_{10\times10}}}$$

$$\frac{M^{f_{clin}}_{Q_{clin}}}{M^{f_{10\times10}}_{Q_{10\times10}}}$$



Detectors measurements



$$\boxed{k^{f_{clin},f_{msr}}_{Q_{clin},Q_{msr}}}$$

Sonja Dieterich and George W. Experimental comparison of seven commercial dosimetry diodes for measurement of stereotactic radiosurgery cone factors", Med. Phys. 38, 4166 (2011)

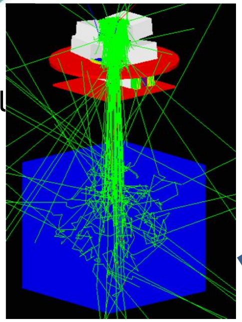
Matériels et Méthodes

Détermination des $k_{Q_{clin},Q_{msr}}^{f_{clin},f_{msr}}$

- Méthode Hybride: Monte Carlo + Mesures
  - Espace des phase de Varian

GATE
Geant 4

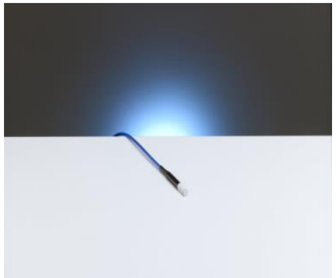
1mm³
Water voxel

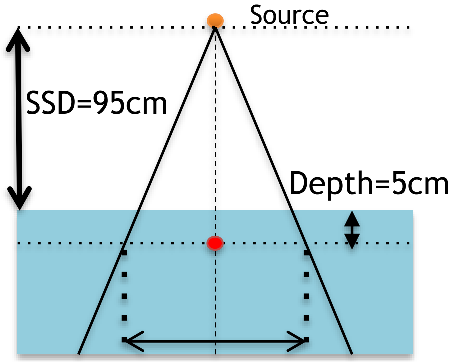


Monte-Carlo
calculations

$$\frac{D_{Q_{clin}}^{f_{clin}}}{D_{Q_{10\times10}}^{f_{10\times10}}}$$

$$\frac{M_{Q_{clin}}^{f_{clin}}}{M_{Q_{10\times10}}^{f_{10\times10}}}$$





Detectors
measurements

$$\boxed{k_{Q_{clin},Q_{msr}}^{f_{clin},f_{msr}}}$$

M. Constantin *et al* “Modeling the truebeam linac using a CAD to Geant4 geometry implementation: dose and IAEA-compliant phase space calculations,” Med. Phys., vol. 38, no. 7, pp. 4018–4024, Jul. 2011.

Matériels et Méthodes

Modèles théoriques

- AAA ➔ $D_w^{AAA} = c \times E(x,y,z) \times \frac{\rho_e^w}{\rho_e^m}$

- AXB D_m et D_w

$$D_w^{AXB} = \int_0^\infty dE \int_{4\pi} d\widehat{\Omega} \frac{\sigma_{ED}^e(\vec{r},E)}{\rho(\vec{r})} \Psi^e(\vec{r},E,\widehat{\Omega})$$

- GATE D_m et D_w

$$D_w^{MC} = D_m^{MC} \times \frac{\int \phi_w(E)(S/\rho)_w dE}{\int \phi_m(E)(S/\rho)_m dE}$$

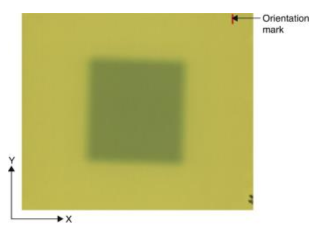
➔ $D_m^{MC} \times \frac{(S/\rho)_w}{(S/\rho)_m}$

$\phi_w \approx \phi_m$ (Siebers *et al.* 2000)

AXB D_m VS **GATE D_m**

GafChromic

$\equiv ?$ $\begin{cases} \text{AAA} \\ \text{AXB } D_w \\ \text{GATE } D_w \end{cases}$ VS



Étalonné dans l'eau
➔ D_w^{meas}

Matériels et Méthodes

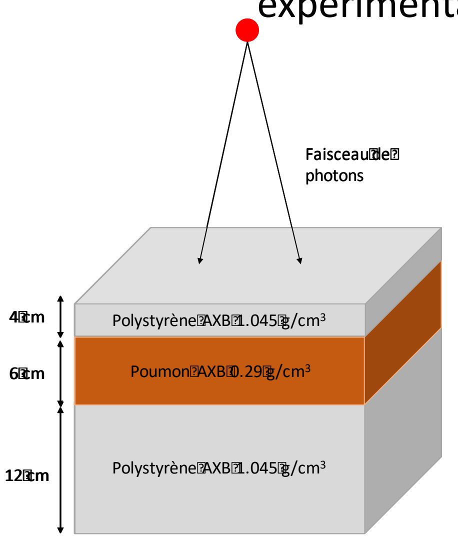
Configurations

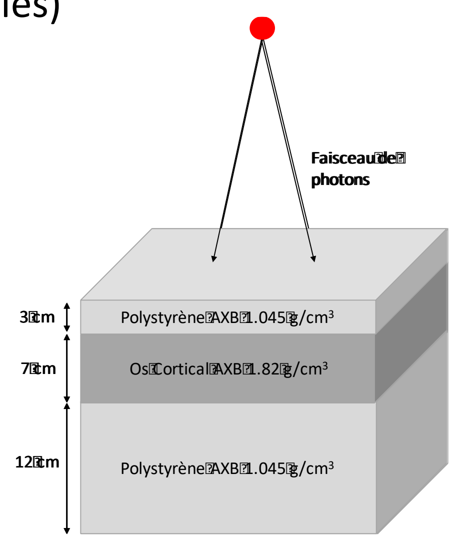
- Photons: 6 MV WFF
- Tailles de champs:

$\text{MLC } 0{,}5 \times 0{,}5\ cm^2 \text{à } 3 \times 3\ cm^2$

- Dose absorbée en profondeur sur l'axe du faisceau
- Poumon et Os
  - AXB et Gammex (plaques expérimentales)

Elément chimique	Poumon AXB	Poumon Gammex	Os AXB	Os Gammex	Polystyrène AXB	Rw3
H(1)	0.101278	0.0743	0.047234	0.0266	0.077418	0.07586964
C(6)	0.10231	0.5786	0.14433	0.3034	0.922582	0.90413036
N(7)	0.02865	0.0196	0.04199	0.0099		
O(8)	0.757072	0.2071	0.446096	0.3908		0.00801184
Na(11)	0.00184					
Mg(12)	0.00073		0.0022	0.0041		
Si(14)		0.0077				
P(15)	0.0008		0.10497			
S(16)	0.00225		0.00315			
Cl(17)	0.00266	0.0008		0.0004		
K(19)	0.00194	0.1119				
Ca(20)	0.00009		0.20993	0.2648		
Ti(22)						0.01198816
Fe(26)	0.00037					
Zn(30)	0.00001		0.0001			

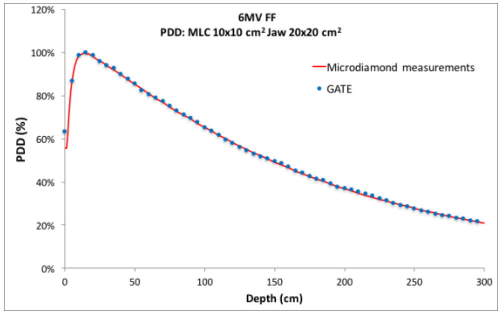


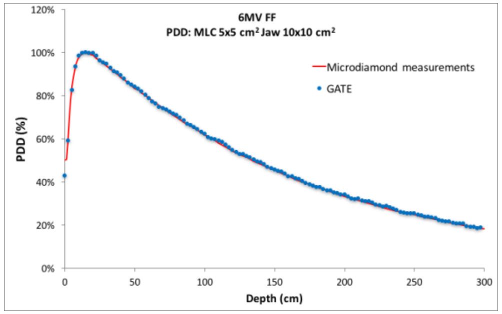


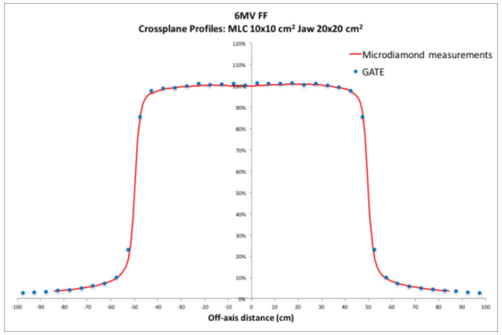
Vs composition AXB Gammex (expérimentale)

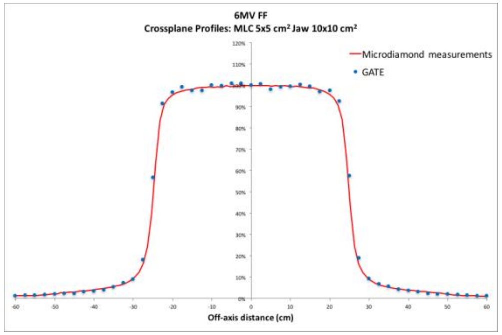
Résultats

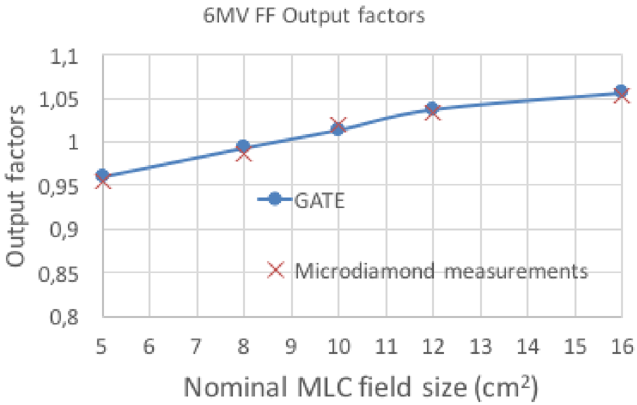
Validation de la modèlisation du TrueBeam









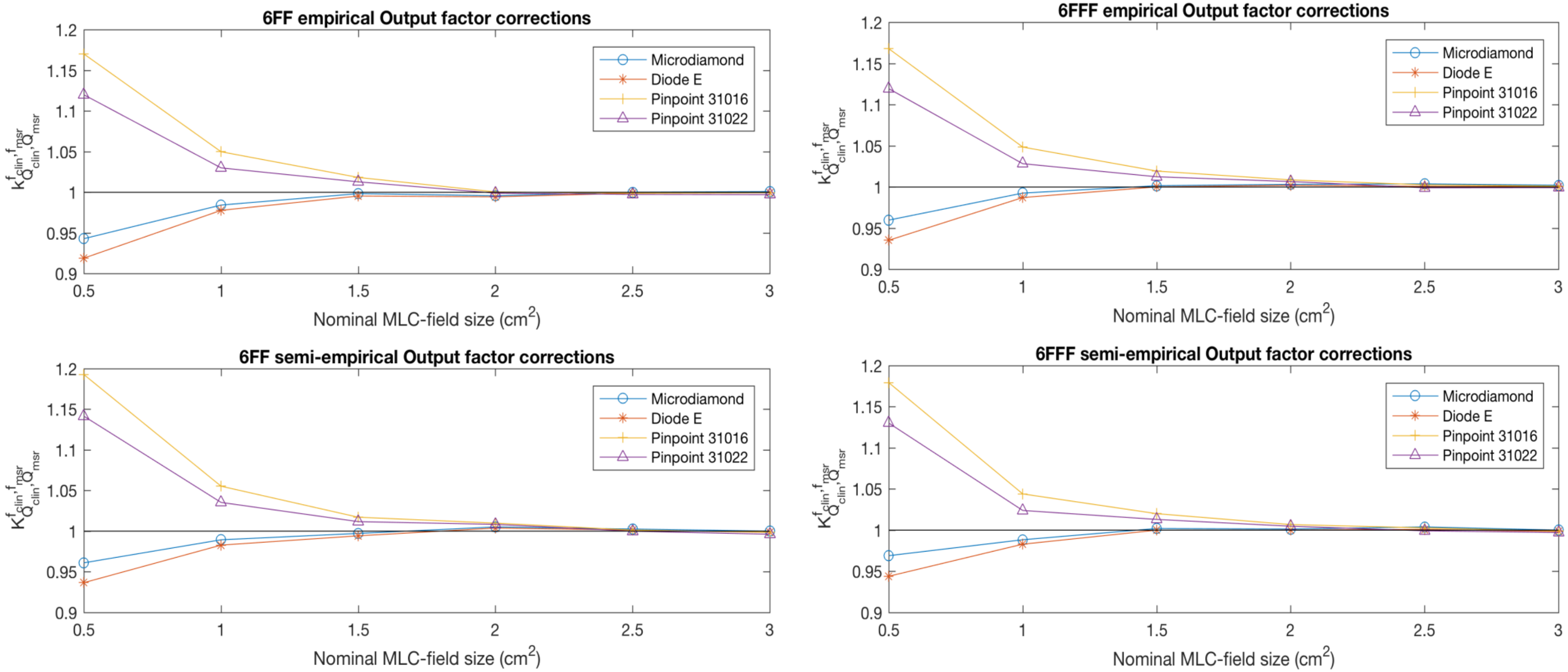


Difference <1%

(Estro 2017)

Résultats

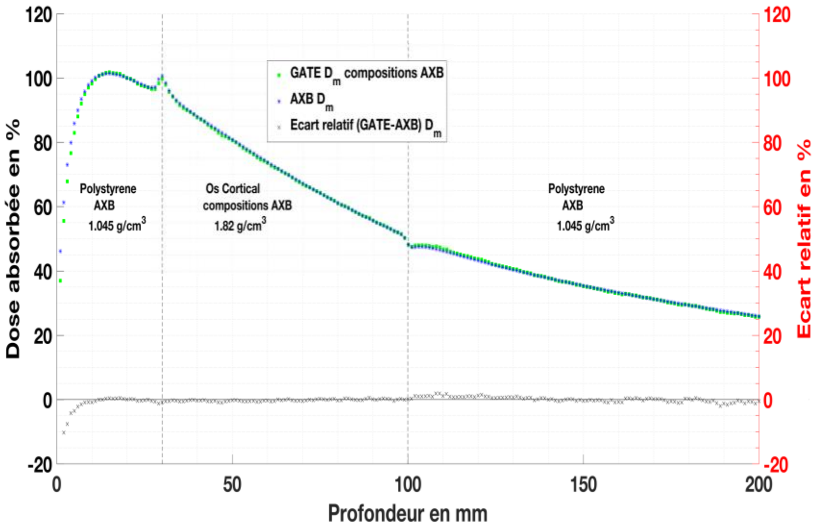
- $k_{Q_{clin},Q_{msr}}^{f_{clin},f_{msr}}$

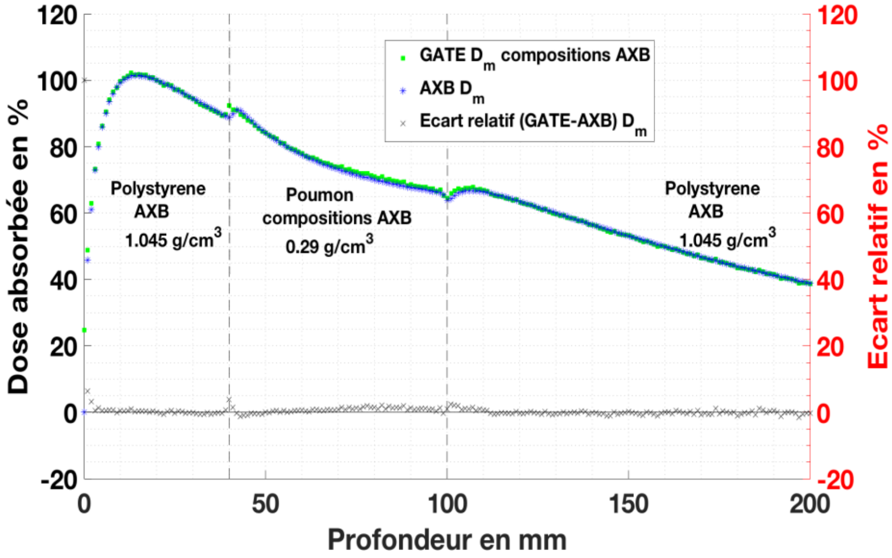


AAPM 2017

Résultats

- **Evaluation des algorithmes: AXB D_m vs GATE D_m**

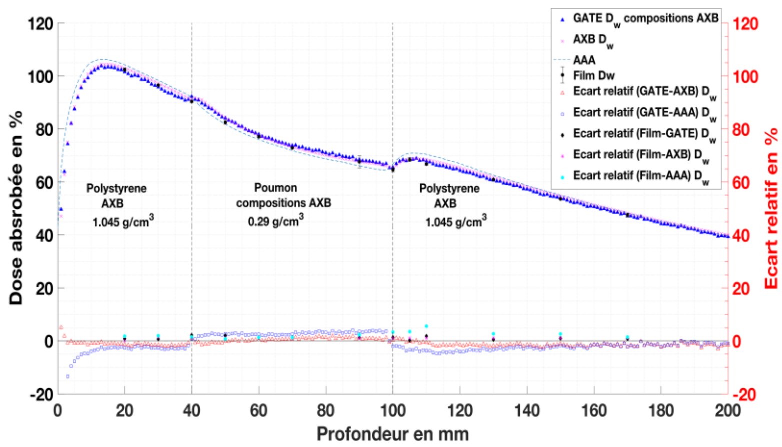


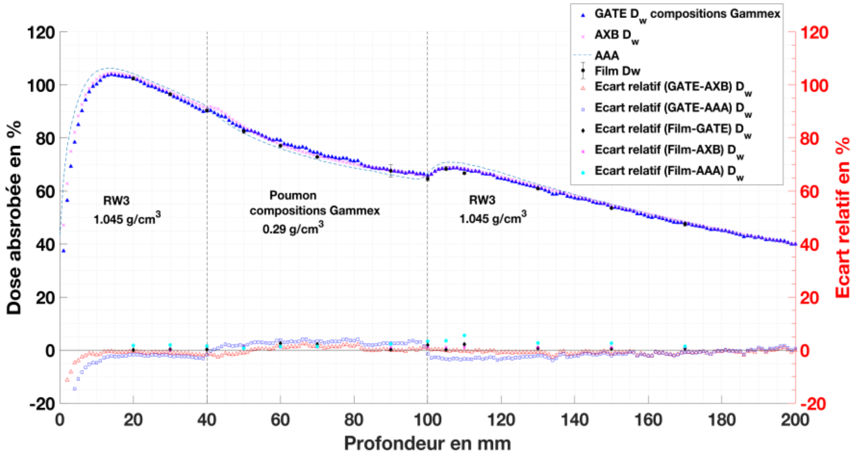


- Compositions AXB: ≠<1%
- Compositions Gammex:
  - ≠ 1.6% os
  - ≠ 2% poumon

Résultats

Evaluation des algorithmes: D_w poumon

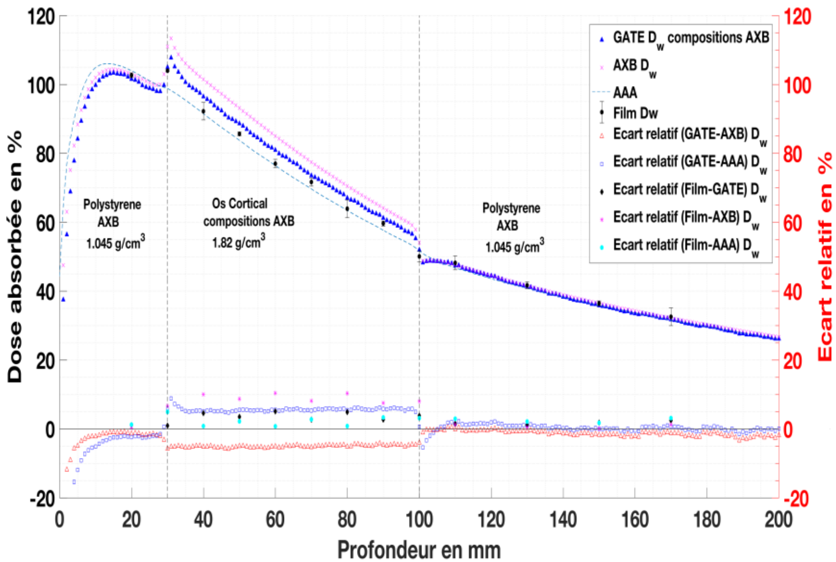


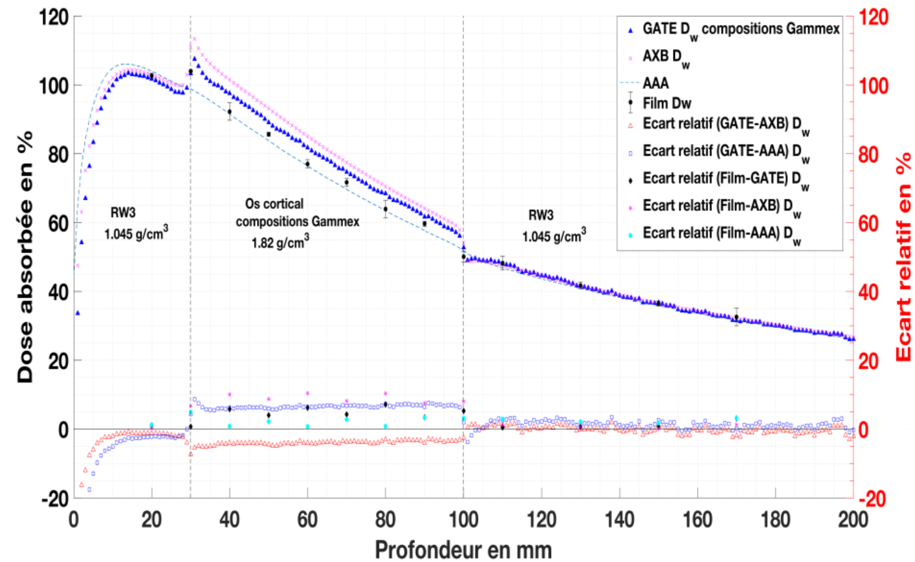


Vs Films	Polystyrène Ou RW3 1.045 g/cm³	Poumons AXB ou Gammex 0.29 g/cm³	Polystyrène Ou RW3 1.045 g/cm³
AAA	1.8%	1.4%	3.1%
AXB D_w	0.6%	0.9%	1.5%
GATE D_w	≤0.7%	≤1.4%	≤0.7%

Résultats

Evaluation des algorithmes: D_w Os





Vs Films	Polystyrène 1.045 g/cm³	Os Cortical AXB 1.82 g/cm³	Polystyrène 1.045 g/cm³
AAA	1.3%	1.8%	2.5%
AXB D_w	0.3%	9.2%	0.7%
GATE D_w	1.1%	3.9%	1.7%

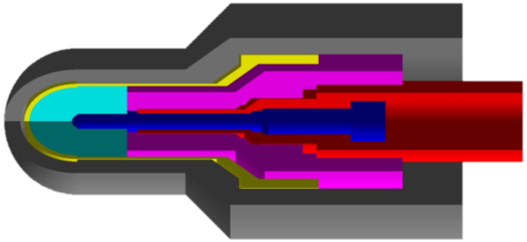
Vs Films	Rw3 1.045 g/cm³	Os Cortical Gammex 1.82 g/cm³	Rw3 1.045 g/cm³
AAA	1.3%	1.8%	2.5%
AXB D_w	0.3%	9.2%	0.7%
GATE D_w	0.9%	5.1%	1.2%

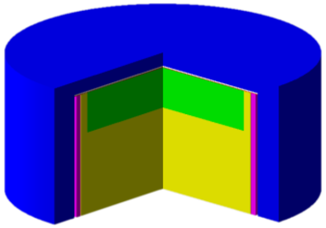
Discussion et Conclusion

- **Développement et validation d’un modèle du TrueBeams sous GATE**
- **Les facteurs de correction des détecteurs dans le cas des petits champs sont en accord entre les deux méthodes utilisées**
- **AXB mieux que AAA dans le cas du poumon et à la sortie des hétérogénéités**
- **Dans l’os ➔ choix attentif du report de dose absorbée (Dm ou Dw)➔ correction nécessaire de la conversion Dm à Dw**

Perspective

- **Détermination des** $k_{Q_{clin},Q_{msr}}^{f_{clin},f_{msr}}$
  - Méthode numérique: Uniquement MC
    - Modélisations des détecteurs





- **Etablir la correction de la conversion**
  - Dm ➔Dw
  - Développement d'un code de calcul de fluence dans GATE ➔ $\phi_w \neq \phi_m$??

Merci pour votre attention