



Inserm

Institut national
de la santé et de la recherche médicale



**LABEX
PRIMES**

UNIVERSITÉ DE LYON

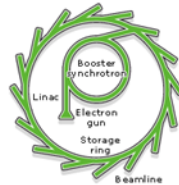


UNIVERSITÉ
**Grenoble
Alpes**



Les systèmes de planification de traitement dédiés à la radiothérapie par les rayonnements synchrotron

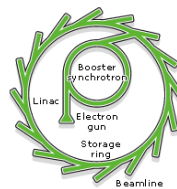
Sarvenaz KESHMIRI, Raphaël SERDUC, Jean-François ADAM



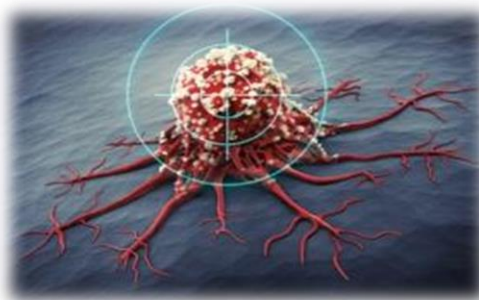
Plan:

- Introduction
- Les avantages de radiothérapie par les microfaisceaux
- Peak-valley dose ratio (PVDR)
- Les techniques de calcul de dose
- Monte Carlo
- Algorithmes basées sur la convolution
- Les méthodes hybrides
- Conclusion et perspective

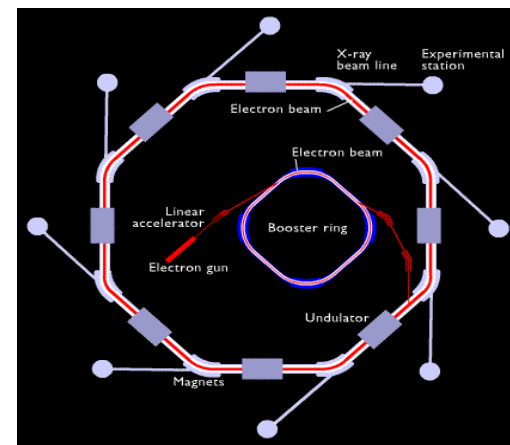
INTRODUCTION



- La radiothérapie est un traitement locorégional des cancers, en utilisant des rayonnement.

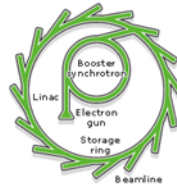


- Les sources des rayons X
- ↔ Tubes à rayons X
↔ Accélérateurs linéaires
↓ Synchrotron



rayonnement X de basse énergie (100 keV),
faiblement divergent et de très haute intensité

INTRODUCTION



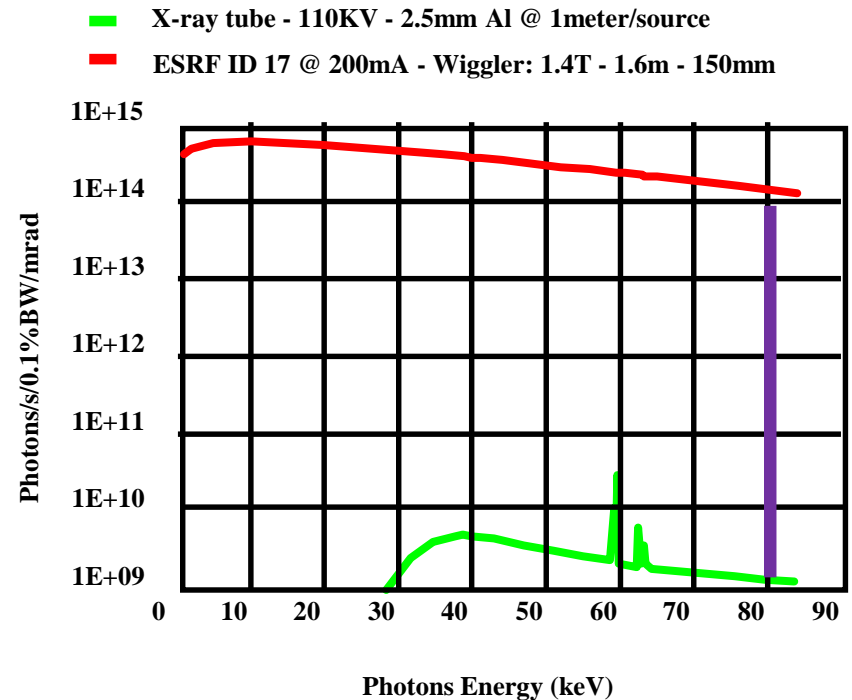
➤ Rayonnements X de synchrotron car:

1. La divergence faible du faisceau.
2. Faisceau monochromatique
3. Flux très élevée (10 kGy/s)
4. Faisceau cohérent
5. Petits faisceaux ($2 \times 50 \text{ mm}$)

↳ Petits champs de traitement



Similaire à radio-chirurgie stéréotaxique



➤ Plusieurs protocoles de radiothérapie pour le synchrotron

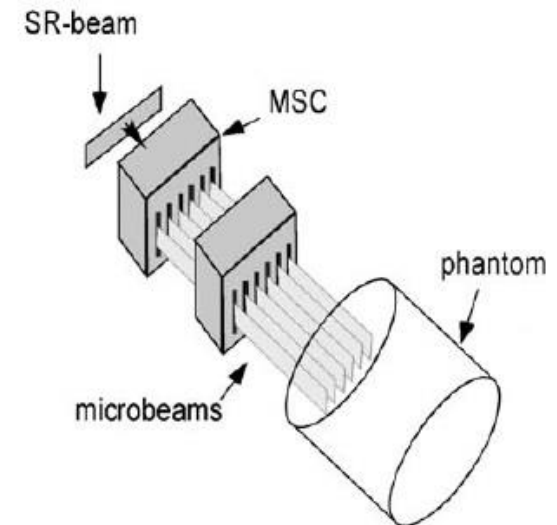


L'objectif principal

Améliorer la distribution de dose, s'affranchir des limitations de dose par fraction et compenser la faible pénétration des rayons X.

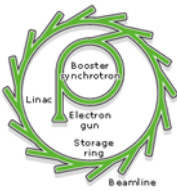
➤ Les options pour la radiothérapie sont:

1. Le fractionnement spatial du faisceau.
2. La stéréotaxie en utilisant des éléments radiosensibilisants.



E.Bräuer-Krisch, et al. Effects of pulsed, spatially fractionated, microscopic synchrotron X-ray beams on normal and tumoral brain tissue. Mutation Research. 2010.

INTRODUCTION



➤ Des rayons X fractionnés spatialement

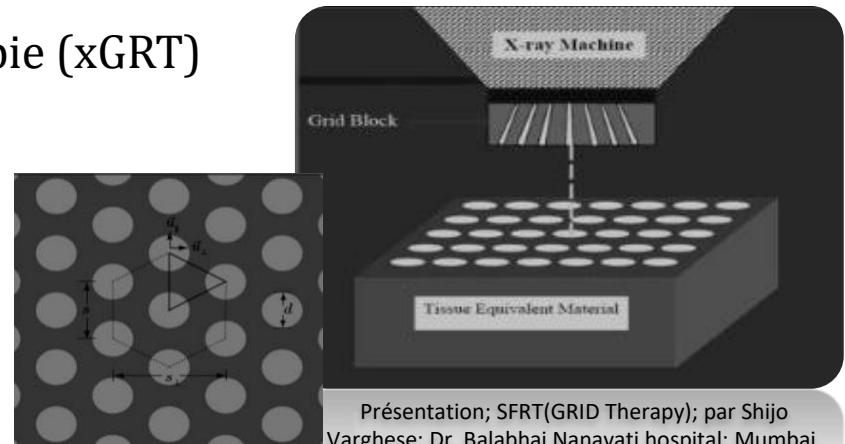


Une réponse extraordinaire de la parte des tissus sains.

➤ L'ancien méthode ➔ GRID Thérapie (xGRT)

1909 -> Kohler
1933 -> Liberson
1970

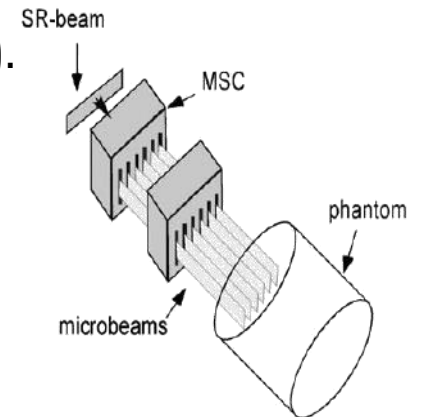
·
·



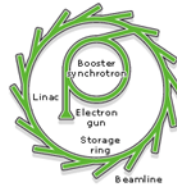
Présentation; SFRT(GRID Therapy); par Shijo Varghese; Dr. Balabhai Nanavati hospital; Mumbai.

➤ Actuellement ➔ Radiothérapie par micro-faisceaux (MRT).

✓ MRT est utilisée en un « boost » pour la radiothérapie stéréotaxique conventionnelle (1 fraction).



Les avantages de MRT



En MRT

➤ Réparation rapide des tissus normaux

↳ faibles dommages au système vasculaire.

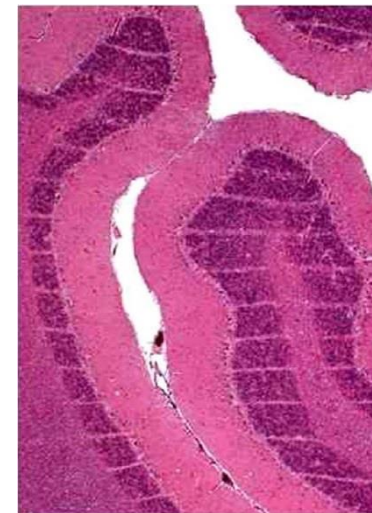
➤ Faible irradiation des zones entre micro-faisceaux

↳ vascularisation normale en dehors des trajectoires du faisceau.

↳ régénération rapide des vaisseaux sanguins

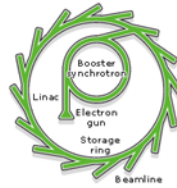


Les vaisseaux sanguins dans les tissus tumoraux sont irréparablement endommagés.



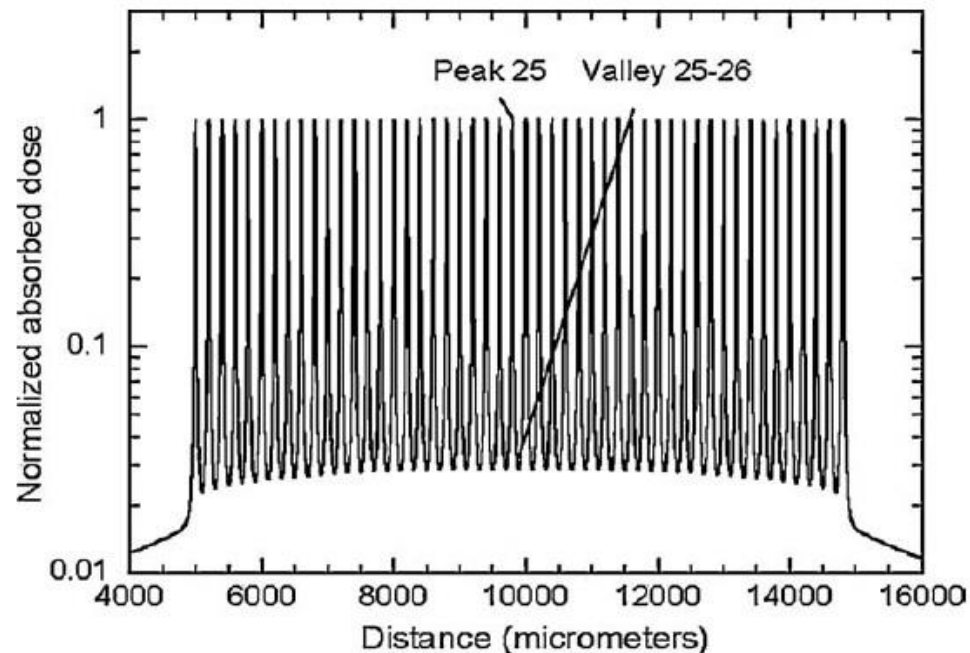
E.Bräuer-Krisch, et al. Effects of pulsed, spatially fractionated, microscopic synchrotron X-ray beams on normal and tumoral brain tissue. Mutation Research. 2010.

Peak-Valley Dose Ratio (PVDR)



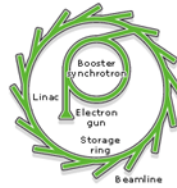
➤ La réponse biologique → dépend du rapport des doses entre les « pics » et les « vallées » (PVDR).

➤ PVDR ↔ La dose au centre des micro-faisceaux = Peak
↔ La dose centrale entre deux micro-faisceaux = Valley



E.Bräuer-Krisch, et al. Effects of pulsed, spatially fractionated, microscopic synchrotron X-ray beams on normal and tumoral brain tissue. Mutation Research. 2010.

Les techniques de calcul de dose



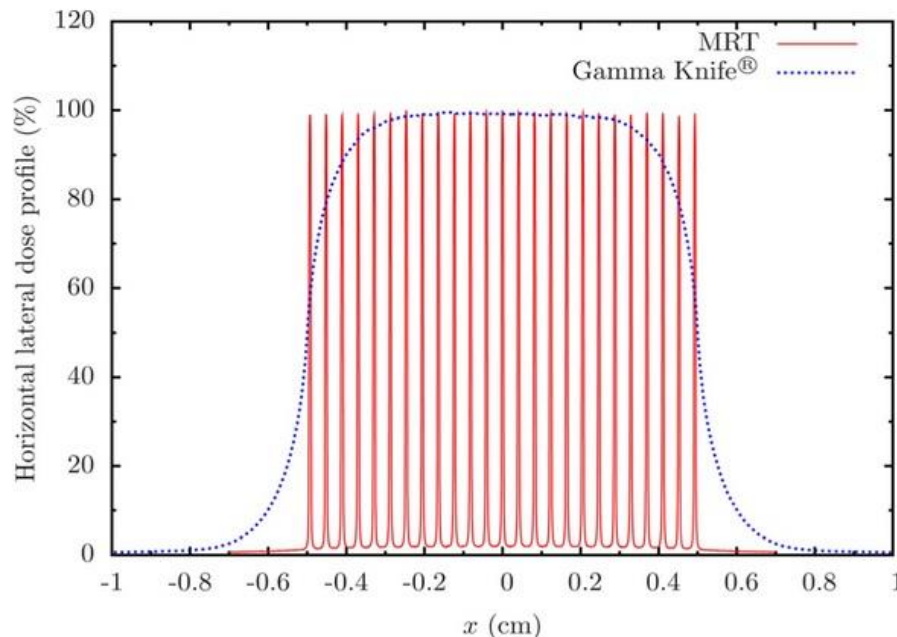
➤ Problématique



En MRT : une irradiation avec des faisceaux polarisés de basse énergie et de fort débit de dose, interagissant dans des milieux biologiques complexes.



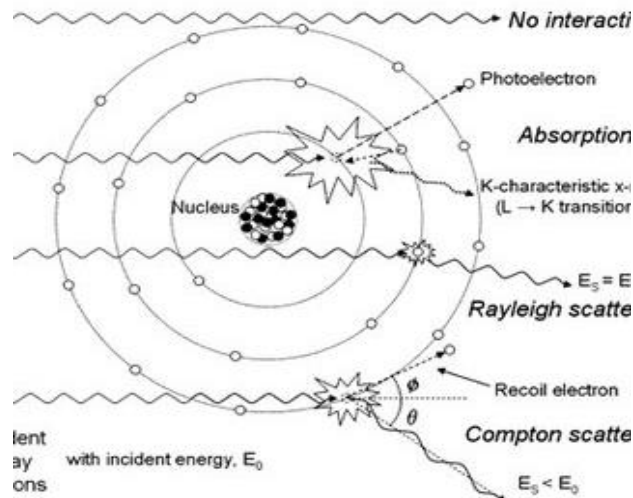
Les TPS disponibles dans le commerce ne conviennent pas à la MRT en raison de ses caractéristiques distinctes.



I.Martínez-Rovira, et al. Development and commissioning of a Monte Carlo photon beam model for the forthcoming clinical trials in microbeam radiation therapy. Med Phys. 2012

➤ Obstacles:

1. Energies de photons dans le spectre de synchrotron sont loin en dessous des énergies typiques des photons dans les plans de traitements de radiothérapie conventionnelle.



https://www.researchgate.net/figure/Rayleigh-scattering-photoelectric-absorption-Compton-scattering-pair-production-and_fig7_257029228

1. Dose doit être déterminée sur une grille micrométrique et sur une plage dynamique de plusieurs ordres de grandeur.

Monte Carlo

➤ Jusqu'à présent, c'est la seule technique de calcul de dose qui fournit la précision requise.

➤ un grand nombre d'historiques de particules



Pour réduire les incertitudes statistiques

Pour calculer la dose en grille micrométrique



Temps de calcul très long -> pas compatibles avec les utilisations cliniques

➤ Accélération par:



Parallélisations

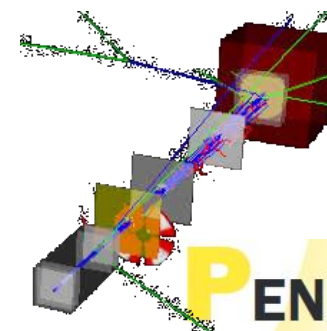
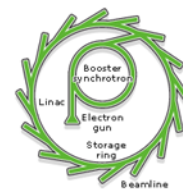


CPU Cluster

GPU



Source model à la place de PSF



PENELOPE

EGS4



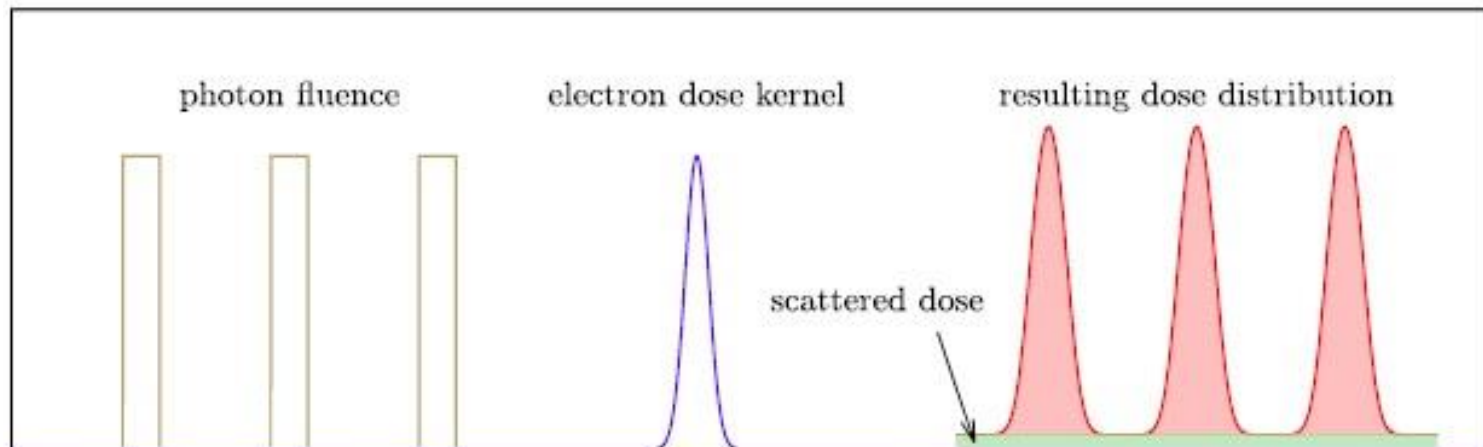
GEANT4
A SIMULATION TOOLKIT



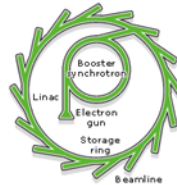
- Basées sur la séparation des rayonnements primaires et diffusés.
- Kernels décrivent la distribution d'énergie absorbée.

$$D_{(E,M)}(\vec{r}) = D_{Scatter}(r) + D_{Primary}(r) \cdot (K_{el}^{3D}(r) * v(r))$$

- Problème ➡ incertitudes en calcul de dose près des interfaces.
 - ➡ Les *Kernels* sont calculés pour les matériaux homogènes.
 - ➡ Le changement de diffusion près des interfaces est négligé.



M.Donzelli, et al; Hybrid dose calculation : a dose calculation algorithm for microbeam radiation therapy. Phys Med Biol. 2018



➤ Combinaison de Monte Carlo et les algorithmes basées sur convolution.



Calcul déterministe de la dose primaire.



Calcul des points d'interaction par Monte Carlo -> pas enregistrement de la dose.



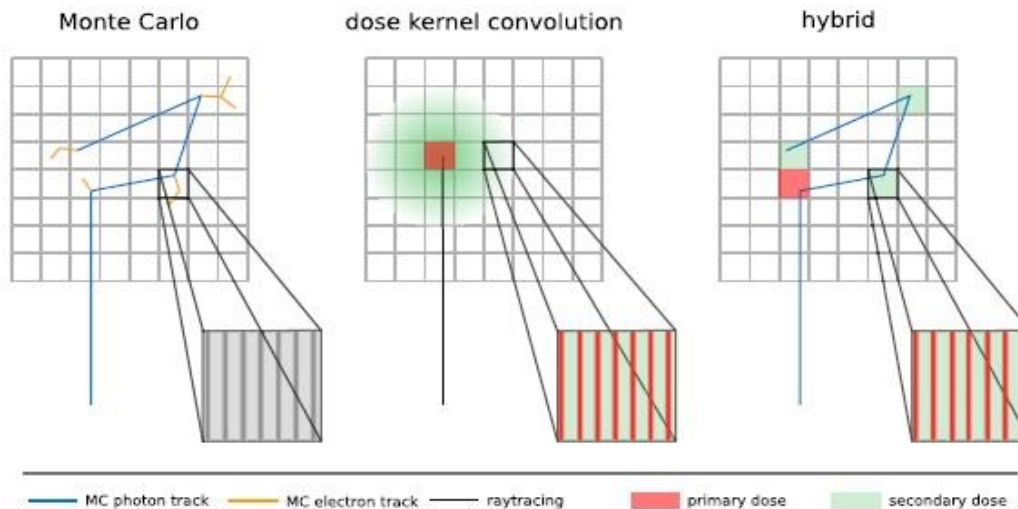
Calcul de la dose déposée par les photons secondaires de façon déterministe.



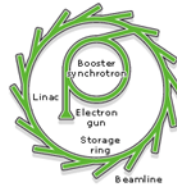
Hybride v.s. convolution -> Considération des hétérogénéité.



Hybride v.s. Monte Carlo -> Rapidité.



M.Donzelli, et al; Hybrid dose calculation : a dose calculation algorithm for microbeam radiation therapy. Phys Med Biol. 2018

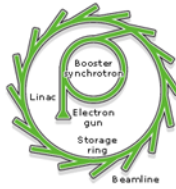


- Convolution -> moins précise en dose vallée dans les petites structures osseuses.
 - ↳ Manque de considération du changement d'absorption des photons rétro-diffusés.
 - ↳ Surestimation de la dose dans les vallées par rapport à Monte Carlo.
 - ↳ Incertitude locale peut atteindre 20%.
 - ↳ Pas de considération de la polarisation des rayons X.

- Monte Carlo est plus précis mais lent.

- Le développement des algorithmes hybrides continue.

Conclusion et perspective

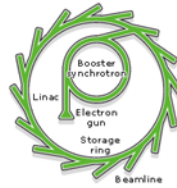


➤ Faisabilité et efficacité de traitement par MRT dépend du système de planification de traitement.

➤ Dans le cadre de ce stage, on cherche à:

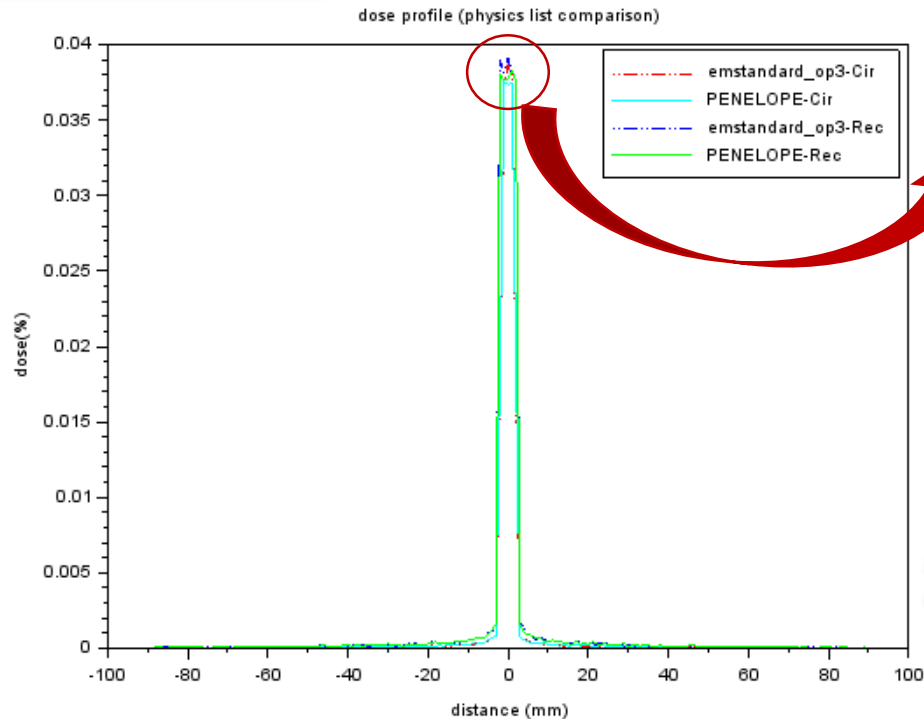
1. Connaître des avantages et des inconvénients des méthodes existantes.
2. Proposer une méthode plus précise dans le cadre des utilisations cliniques de routine basée sur Gate.
3. Proposer la base de données la plus compatible avec la MRT.

Conclusion et perspective



- Nous avons commencé notre étude en comparant les profils obtenus par des bibliothèques différentes:

Source $5 \times 5 \text{ mm}^2$
Energie 80 keV
Fantôme $18 \times 18 \times 18 \text{ cm}^3$



7,75% surestimation
de dose

Cohérent avec les
études précédentes
->surestimation de 10%

J. Spiga, et al. The GEANT4 toolkit for microdosimetry calculations :
Application to microbeam radiation therapy (MRT). Med Phys. 2007

Merci pour votre attention

