Quelles sont les orientations à donner sur les monitoring faisceaux ?

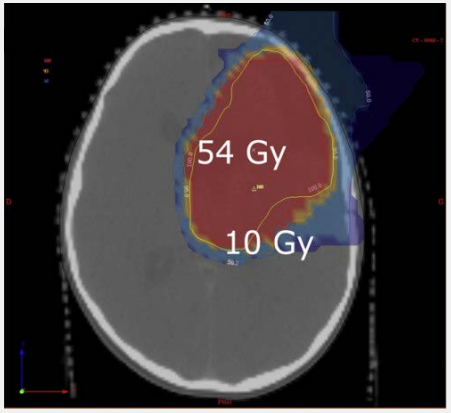
Introduction

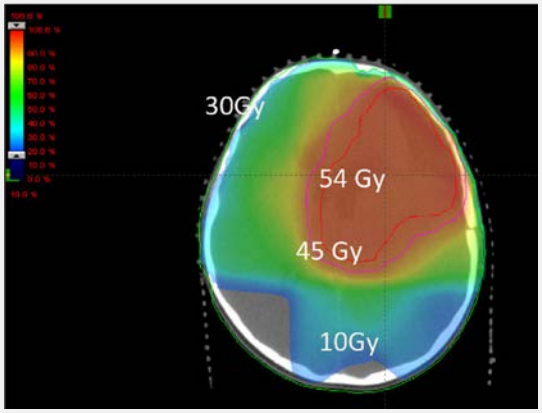
Il n'y a pas un type de « rayon » unique pour traiter les cancers, mais des types de rayons.

- dédiés routine clinique (on les utilise tous les jours pour la quasi-totalité des traitements),
- spécifiques à certains types de cancers (production des *rayons* et traitements plus complexes),
- en cours d'étude.

Objectif :

- Déposer de l'énergie dans les cellules malignes
- Epargner les tissus sains





La radiothérapie photonique externe

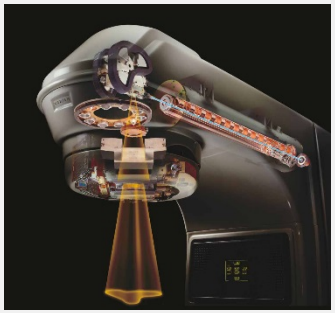
Radiothérapie externe :

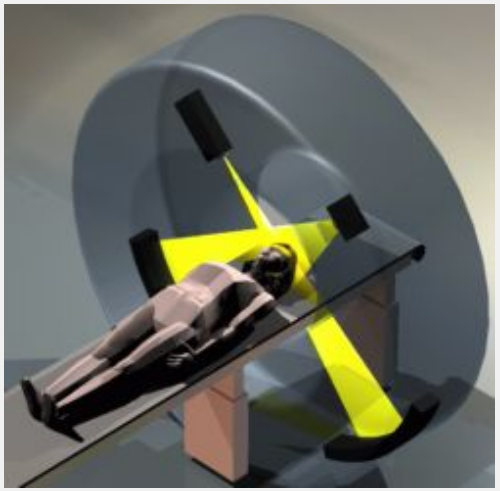
- Faisceaux de rayons X délivrés par un accélérateur d'électrons qui impactent une cible (mode le plus répandu)

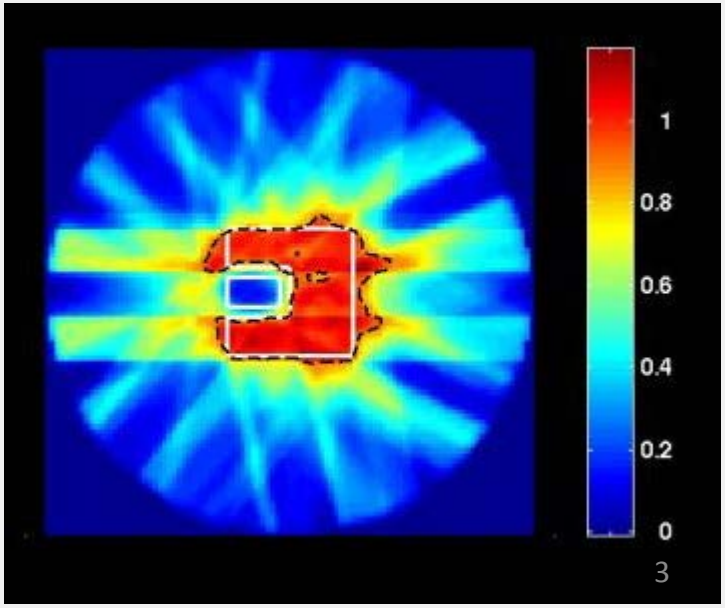
La radiothérapie photonique externe

Radiothérapie externe :

- Faisceaux de rayons X délivrés par un accélérateur d'électrons qui impactent une cible

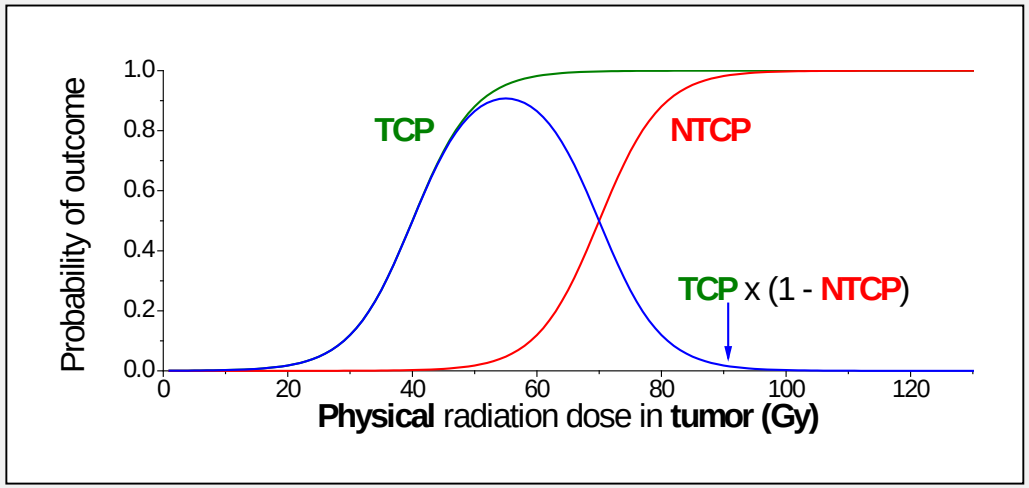






Radiothérapie et contrôle tumoral

Maximiser la dose dans le volume tumoral et minimiser la dose dans les tissus sains



Proba. de contrôle des tissus à traiter

Proba. de complication des tissus sains

Probabilité de contrôle tumoral / probabilité de complication sur tissus sains : gestion au cas par cas

Amélioration de l'effet différentiel :

Augmenter la dose dans la tumeur

- Ajouter des éléments de Z élevé dans la tumeur
- Nanoparticules
- Ions au pic de Bragg

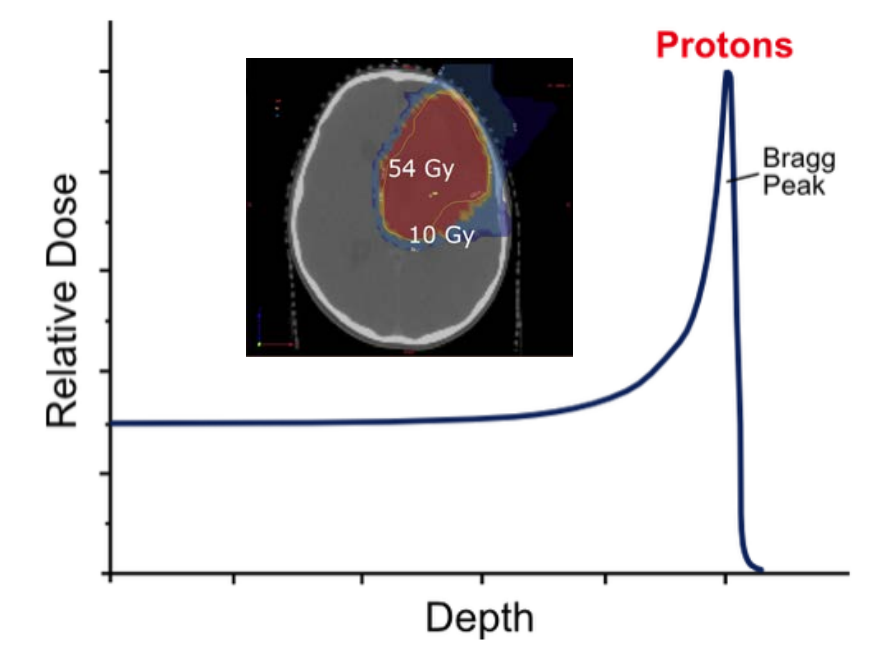
Diminuer la dose aux tissus sains

- Conformation (IMRT)
- Multiplication des points d'irradiation
- Hadronthérapie

Hadronthérapie et pic de Bragg

Radiothérapie externe :

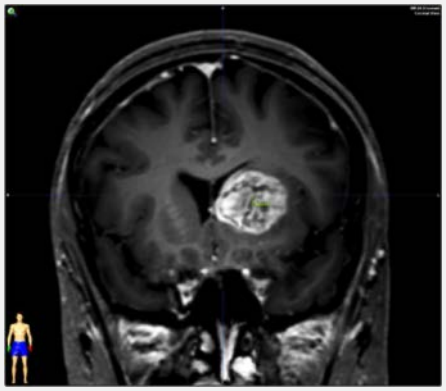
- Faisceaux de rayons X délivrés par un accélérateur d'électrons qui impactent une cible
- **Faisceaux d'ions (protons, ions carbones)**

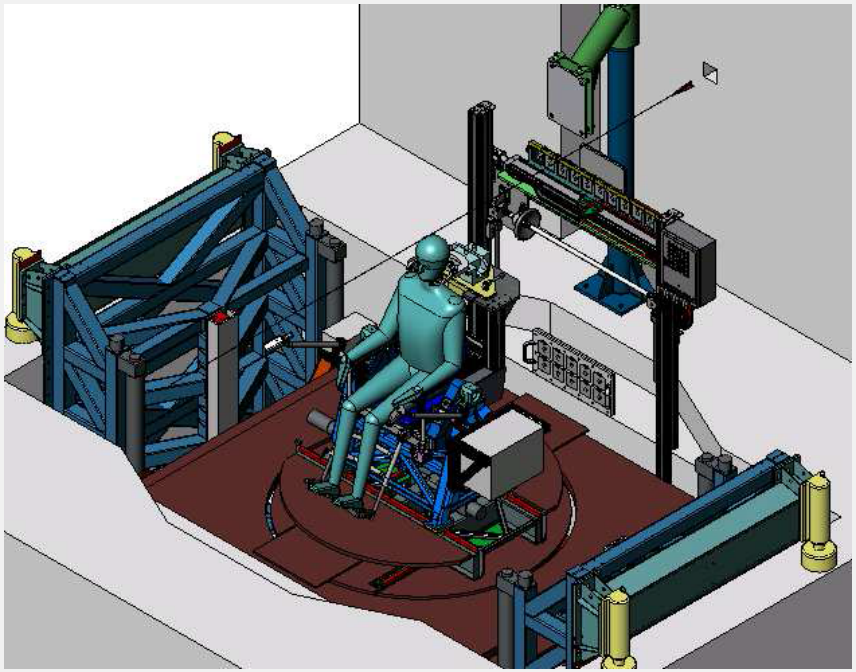


Traitement innovants

Radiothérapie externe :

- Faisceaux de rayons X délivrés par un accélérateur d'électrons qui impactent une cible
- Faisceaux d'ions (protons, ions carbones)
- Faisceaux de neutrons (*Neutron Capture Therapy*)
- Faisceaux de **rayons X de basse énergie à très haute intensité** (ligne médicale de l'ESRF : essai clinique de traitement des glioblastomes)

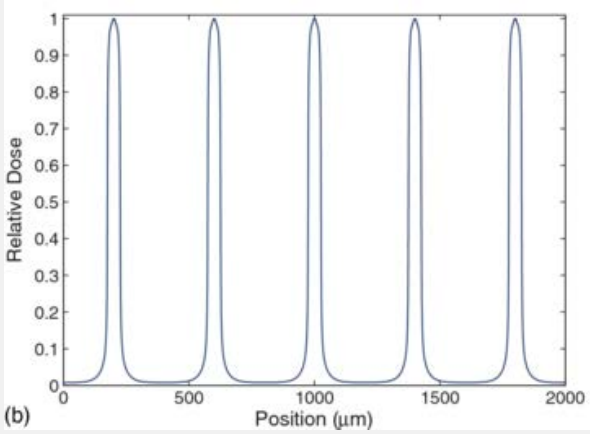


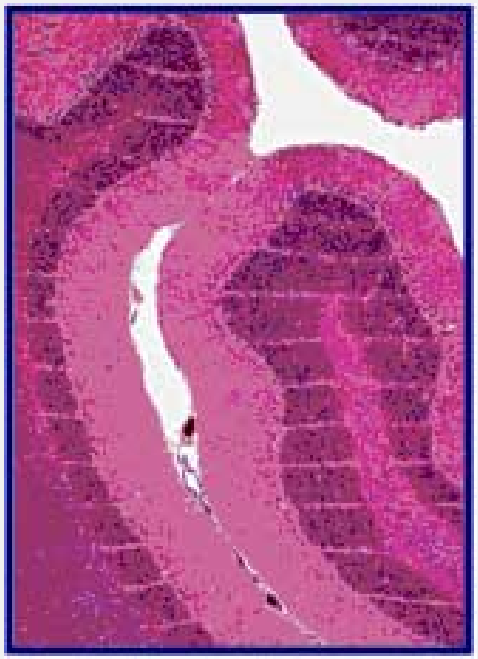


Traitement innovants

Radiothérapie externe :

- Faisceaux de rayons X délivrés par un accélérateur d'électrons qui impactent une cible
- Faisceaux d'ions (protons, ions carbones)
- Faisceaux de neutrons (*Neutron Capture Therapy*)
- Faisceaux de rayons X de basse énergie à très haute intensité, sous forme de **micro faisceaux** (essai clinique à venir à l'ESRF si feu vert ASN)





Traitements et monitoring faisceaux

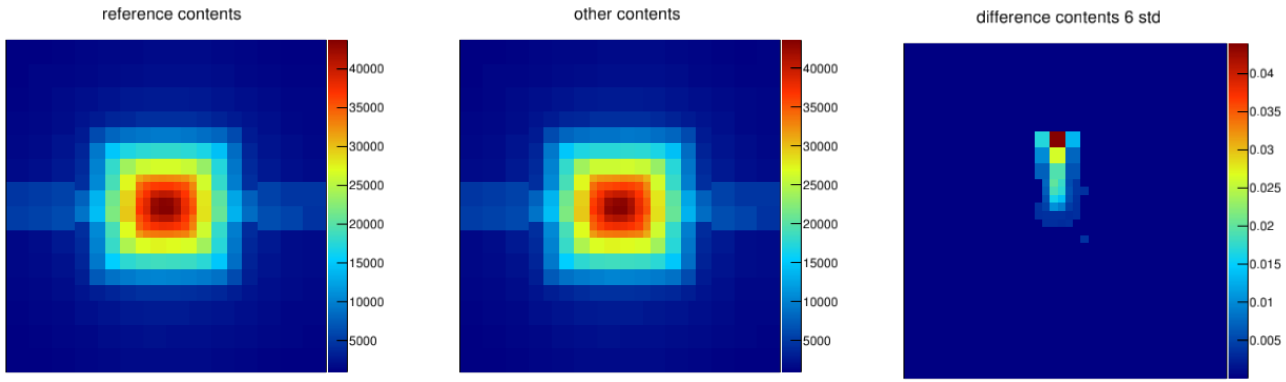
La dose (énergie déposée dans les organes du patient) dépend des **caractéristiques des faisceaux**

On doit donc connaitre précisément les caractéristiques des faisceaux, pour planifier le traitement, puis au cours de celui-ci pour vérifier la conformité des faisceaux délivrés.

	Projet TraDeRa, rayons X	Projet Diamant, protons
Distribution spatiale et intensité des faisceaux	Mesures de la fluence des faisceaux en 2D et en temps réel : vérification de la conformité du traitement	
Distribution en énergie des faisceaux	Travail de thèse de Robin Fabbro : modélisation des faisceaux – prédiction de la dose	
Point d'arrêt des faisceaux de hadrons		Maximum de dose dans la tumeur : vérification de la conformité du traitement
Distribution temporelle des faisceaux		Étiquetage temporel des faisceaux pour la détection des photons prompts

Expertise dans le monde des détecteurs : développement de nouveaux outils pour caractériser les faisceaux en radiothérapie externe

Groupe DAMe : étalonnage du détecteur, mesures de précision

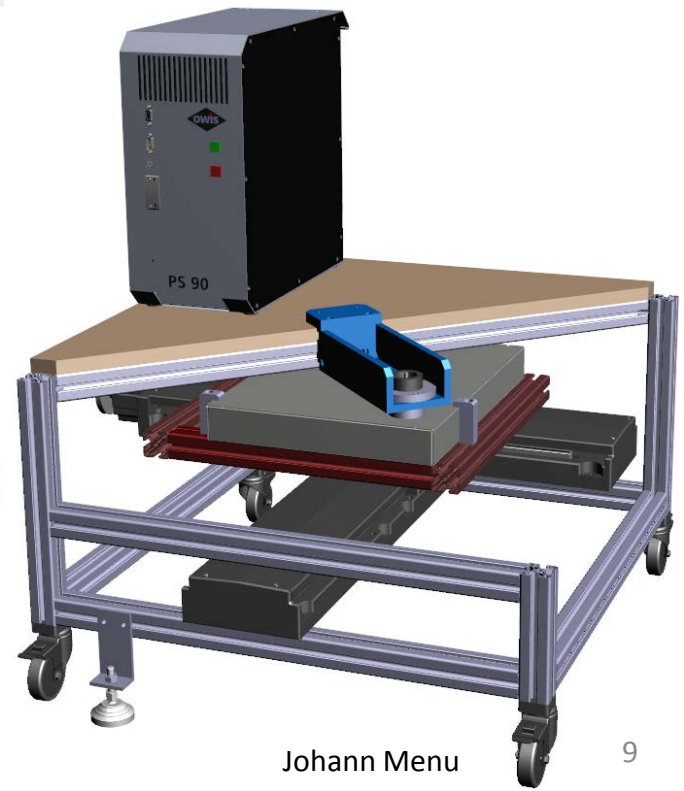


Détecteur 324 voies : sensibilité éprouvée à détecter des erreurs d'irradiation.

Court terme :

Mesures de précision : étalonnage de la réponse de l'électronique à l'aide d'une source de traitement (CHU : cobalt 60, 2 Ci)

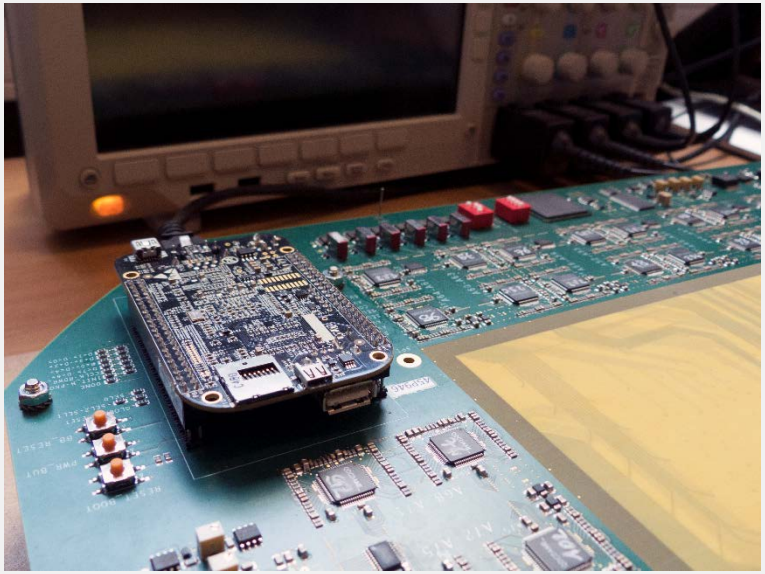
Banc de mesure avec déplacements (x,y) pour irradiation uniforme de la zone sensible.



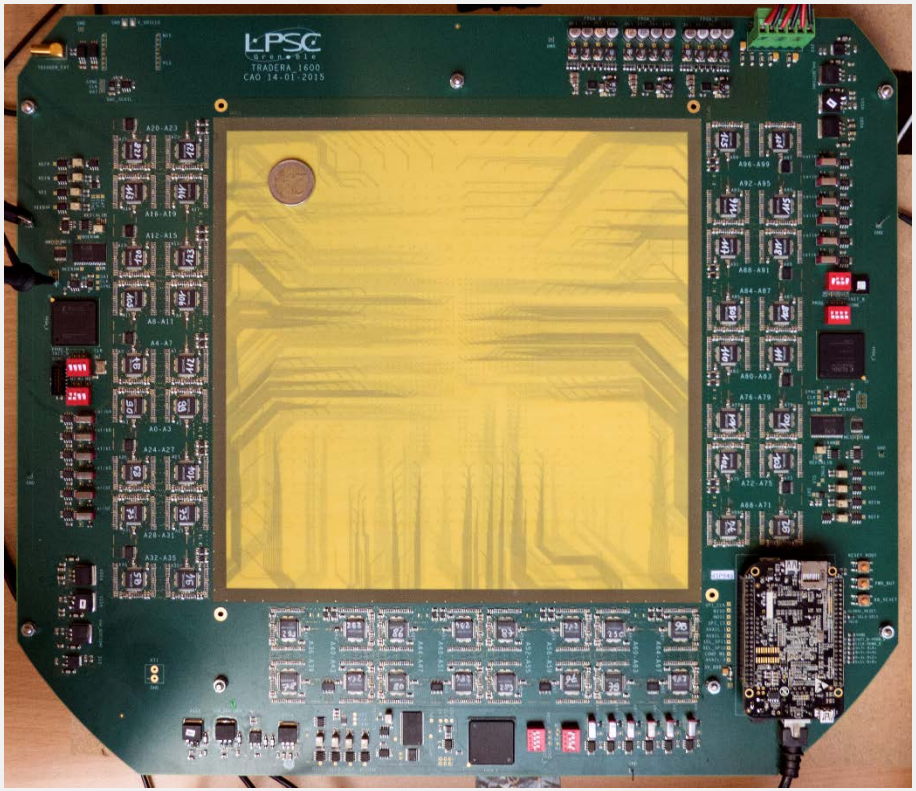
Groupe DAMe : vers un prototype opérationnel

Court terme :

Mise en service progressive du détecteur complet à 1600 voies, couverture complète de la zone irradiée :



Protocole de communication Beaglebone – 3 FPGA – 100 ASIC – 1600 voies en cours de débogage (B. Boyer, L. Gallin-Martel, J. Odier)



Gestion du flux de données :

- Mise en forme des paquets
- Transmission Bluetooth vers station locale
- Transmission filaire vers console d'acquisition
- Base de données

PCB : J-L. Bouly

Groupe DAMe : valorisation… ou pas ?

Valorisation : nécessaire pour arriver à un produit susceptible d'être commercialisé (source de financement pour les activités à venir), + recommandations du CS 2014.

Parcours du combattant :

- Recherche d'accompagnement (GATE1 : audition Comité de Détection et de Suivi ok)

Le transfert de technologie est peu porteur.

Commercialisation ?

Détecteur opérationnel → prototype → données intégrées au workflow de la radiothérapie → Startup

Rachat potentiel par une grosse structure

- Demandes de financements : DIRE (CNRS), SATT (avance remboursable), investisseurs, …
- Cahier des charges pour externaliser boitier, alimentation autonome et software de contrôle basique
- Tests par un panel de physiciens médicaux : performances et mesures des caractéristiques in situ
- Etude de marché : débouchés potentiels du produit
- Dossier étoffé pour la SATT
- …

Accompagnement « statut 25-2 » (détachement pour conseil 20% FTE)

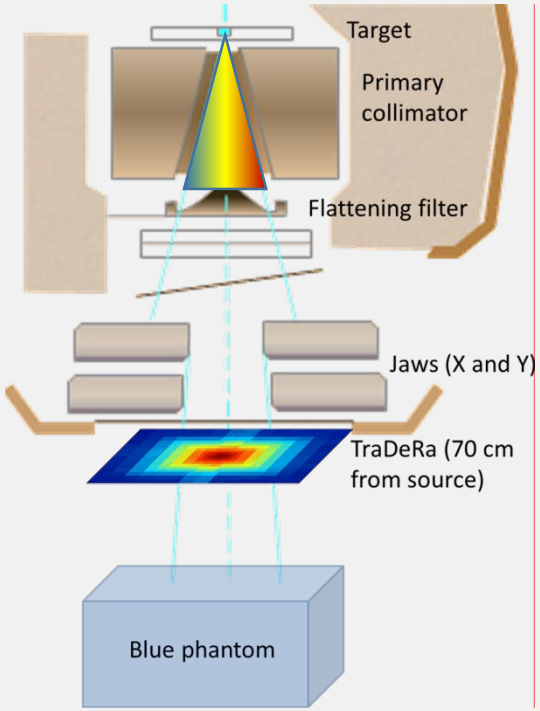
Réduction de l'effectif du groupe

Jusqu'où doit on aller ?

Lexique :
GATE1 Grenoble Alps Technology And Entrepreneurship
DIRE direction de l'innovation et des relations avec les entreprises
SATT Sociétés d'Accélération du Transfert de Technologies

Groupe DAMe : du détecteur à la dose

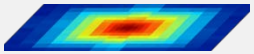
mesure 2D sous la tête de l'irradiateur → dose 3D dans le patient



Modélisation du faisceau réel par des méthodes indirectes itératives

Dose 3D réelle dans une cuve à eau

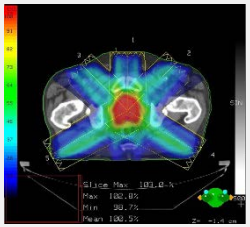
Faisceau modélisé



Prédiction de la réponse du détecteur

Réponse du détecteur sous irradiation réelle

Profil de dose 3D

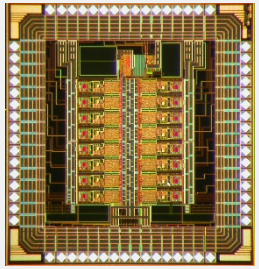


Travail de thèse de Robin Fabbro en cotutelle avec l'ESRF

Groupe DAMe : développements électroniques TraDeRa

Court terme :

Développement ASIC QDC II : extension de la dynamique (L. Gallin-Martel)



Modification du layout pour meilleure sensibilité à bas signal, 64 voies / boitier

Long terme :

Développement détecteur 6400 voies à électrodes de collecte des charges optimisées

Géométrie des électrodes optimisées : sensibilité identique sur toute la zone de traitement

Groupe DAMe : Adaptations du savoir faire, nouveaux détecteurs

Court terme (2ème partie thèse R. Fabbro)

Adaptation détecteur ESRF (essai thérapeutique, patients traités au CHU et à l'ESRF) :

Hardware : modification de la zone sensible pour le faisceau plat à haute intensité, **électronique identique**	Software : Estimation de la dose 3D à partir de la réponse 2D du détecteur

Long terme :

Essais cliniques ESRF assujettis à la mesure en ligne des caractéristiques des micro faisceaux

Développement d'une chambre à fils, **électronique similaire**	Mesure en temps réel et en 2D de la stabilité de l'intensité du faisceau peigne

Long terme :

Mesures et adaptation **protonthérapie** (centre Lacassagne, Nice : détecteurs IN2P3)

modification de la zone sensible pour le faisceau pinceau de protons, **électronique similaire**	Mesure en ligne de l'intensité et de la position du faisceau pinceau

Groupe DAMe : Far future

Très long terme :

Développement détecteur en aval du patient : vers la dosimétrie de transit

Détecteur amont (TraDeRa)

Détecteur aval

R&D long terme :

R&D caractérisation des petits faisceaux en radiothérapie conventionnelle :

dosimétrie sur des volumes ~mm^3

Prospectives groupe Développements et Applications pour le Médical

Evolution constante du matériel et des techniques en radiothérapie, certains traitements sont réalisés en aveugle, faute de matériel existant.

L'expertise acquise ces dernières années nous permet d'envisager des adaptations rapides de l'existant :

- développements typés recherche (monitoring faisceau hadronthérapie, ligne médicale ESRF, …)
- développements appliqués (1600 voies, 6400 voies, détecteur aval, …)

Recours à venir au savoir faire des services techniques :

Electronique : intégration de système embarqués type Raspberry / Beaglebone / FPGA+CPU à l'interface entre le bas niveau et les interfaces clients

Détecteurs : mise en œuvre de l'environnement, conception de cathodes fines, chambres à fils

Mécanique : bureau d'étude pour les développements à externaliser

Informatique : protocoles de communication, accompagnement vers le calcul distribué