



list
cea tech



cea

Développement de contrôle qualité en radiothérapie externe stéréotaxique basé sur la dosimétrie 3D par gel Fricke-Xylenol orange-Gelatin

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

A. Rousseau^a, C. Stien^a, J.M. Bordy^a, I. Chabert^b, V. Blideanu^a

^aUniversité Paris-Saclay, CEA, List, Laboratoire National Henri Becquerel (LNE-LNHB), 91120 Palaiseau

^bGustave Roussy, Service de Physique, 114 Rue Edouard Vaillant, 94805 Villejuif

28 septembre 2021



- Contexte
- Limites actuelles
- Méthode de double lecture optique
- Contrôle qualité 3D end-to-end
- Conclusions

Radiothérapie stéréotaxique et dynamique (IMRT, VMAT) : Champs d'irradiation petits et complexes avec des forts gradients de dose



Flacon de gel FXG :
irradiation en champ
2 x 2 cm², 8 Gy au
point de référence



Nécessité accrue de contrôler la dose
délivrée à la tumeur et aux tissus sains



Accélérateur linéaire Truebeam
(Varian) de la plateforme DOSEO



Mesure de distributions spatiales de dose délivrées lors des
traitements en **trois dimensions** par **dosimétrie par gel**

Gel Fricke-Xylenol orange-Gelatin (FXG) :

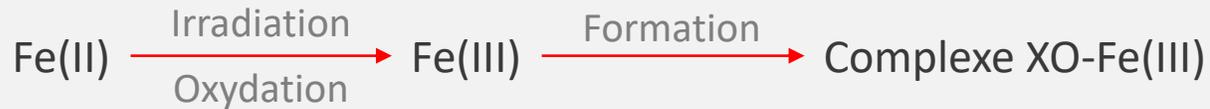
- Préparation simple
 - Composants chimiques non toxiques
 - Lecture simple avec le **scanner optique de reconstruction tomographique Vista16™**
- Implémentation en routine clinique



Laboratoire de chimie à DOSEO

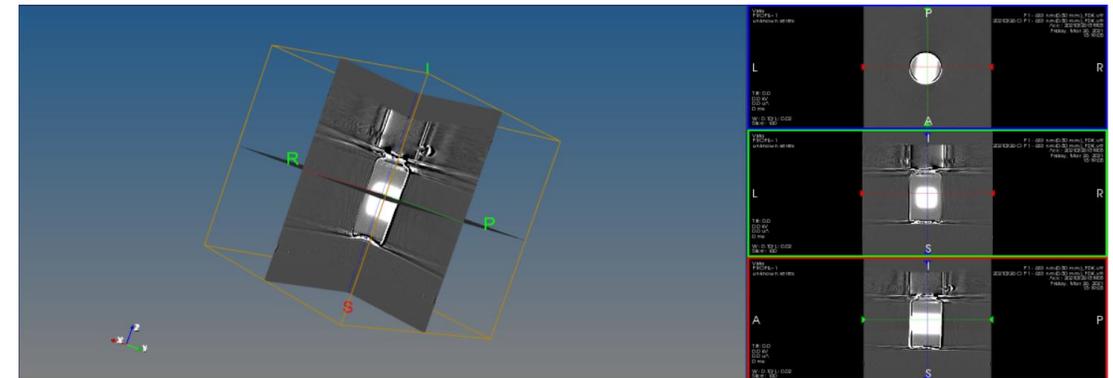


Scanner optique Vista16™ (ModusQA)

Principe :

Changement de couleur :

- Pic d'absorption à **585 nm**
- Lecture à **590 nm**

Distribution 3D de **coefficients d'atténuation** $\Delta\mu$ (cm^{-1})Etalonnage en termes
de dose absorbéeDistribution 3D de **doses absorbées**

Distribution 3D d'un flacon de gel

Coupes coronale, axiale et
sagittale au centre du flacon

Utilisation du gel FXG et de la lecture par tomographie optique seulement pour des doses < 4 Gy

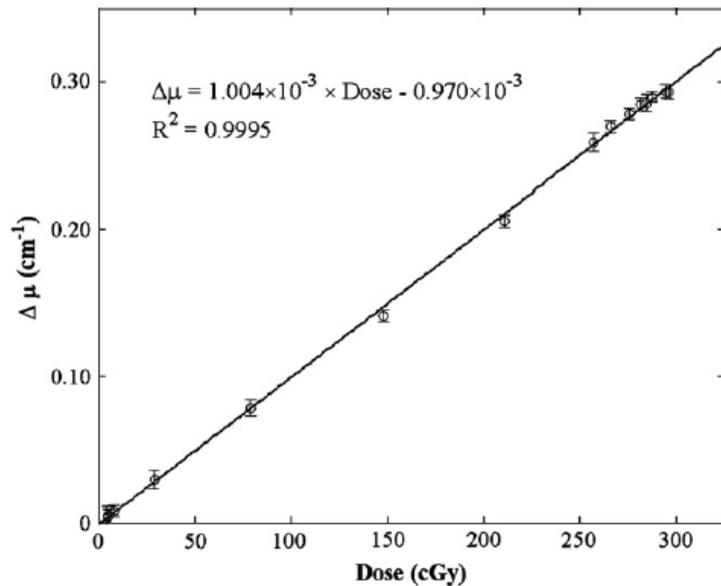
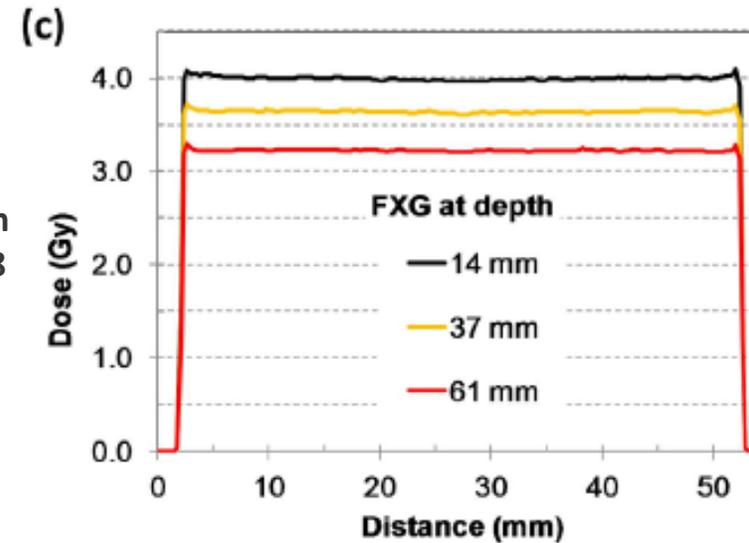


Fig. 4. Change in optical attenuation versus dose used to calibrate the dose response of the ferrous xylene-orange (FX) gels.

Lectures optiques à 590 nm

Babic *et al.*, Int J Radiation Oncology Biol. Phys., 2008



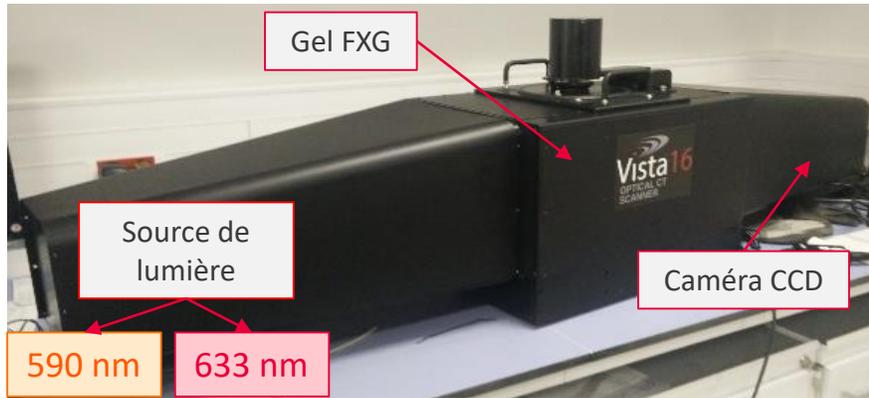
Ramm, Phys. Med. Biol., 2018

X Contrôle qualité 3D en radiothérapie stéréotaxique et dynamique

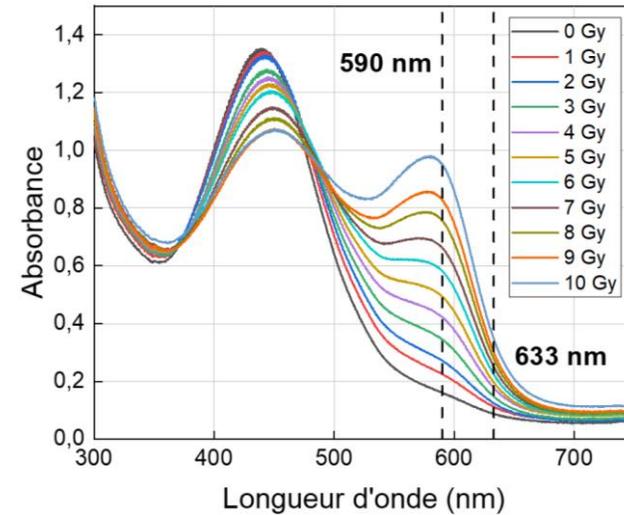
Objectifs :

- Etendre la gamme de dose de lecture à des **doses > 4 Gy**
- Mise en place d'un **contrôle qualité 3D en radiothérapie stéréotaxique** en collaboration avec l'hôpital Gustave Roussy

Méthode de double lecture sur le scanner optique :



Scanner optique Vista16™

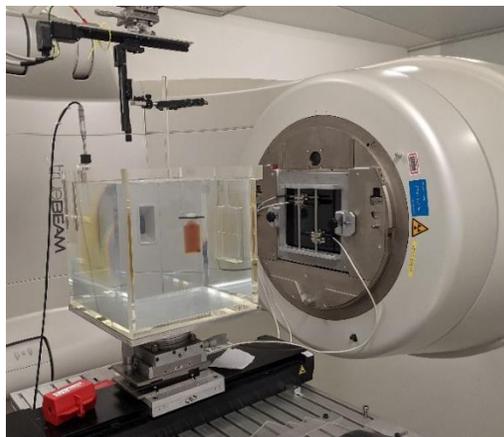
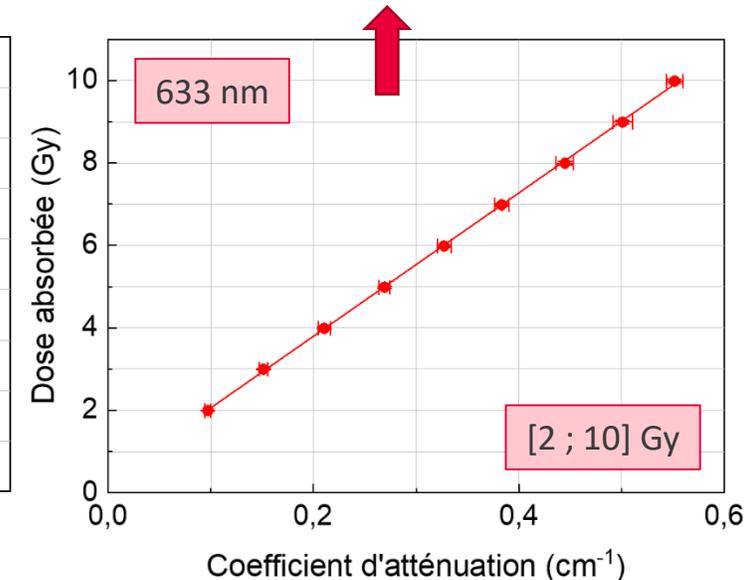
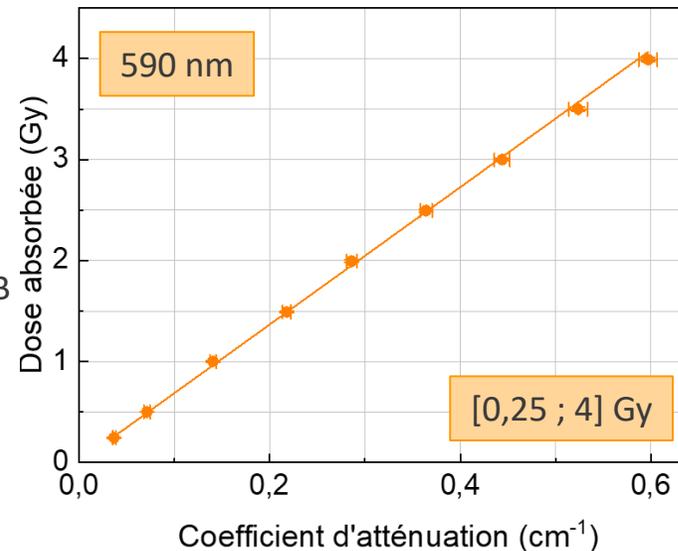


Etape 1 : Etablissement des courbes d'étalonnage à 590 nm et 633 nm

Lecture possible des doses > 4 Gy

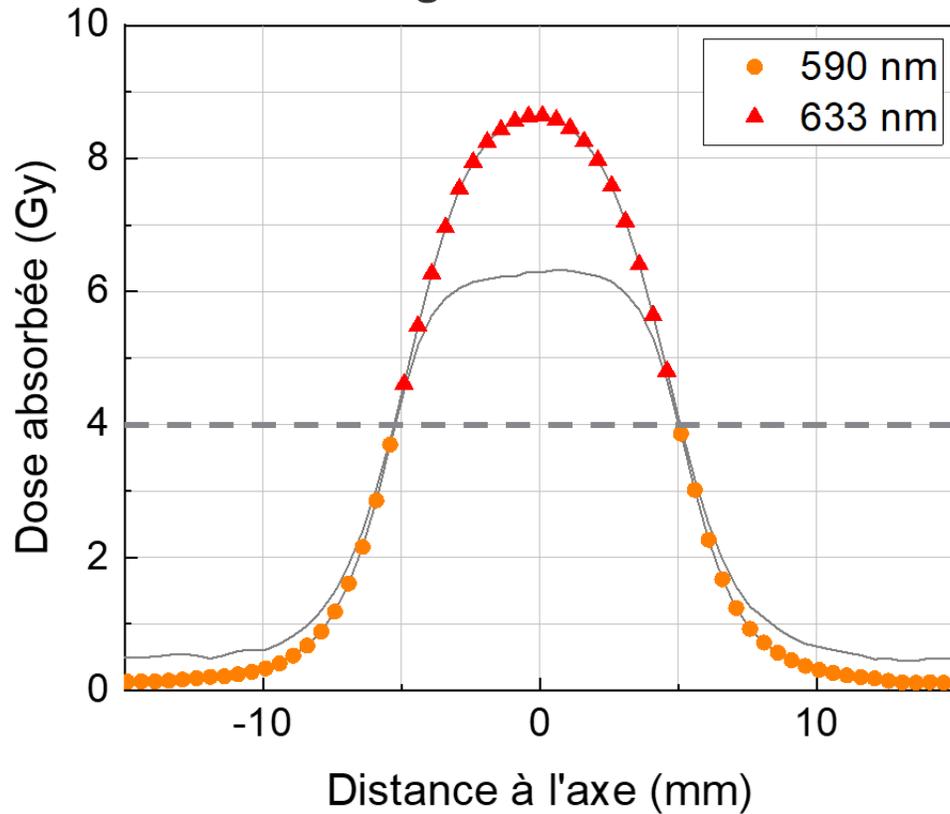
$$D = a_{\lambda} * \Delta\mu + b_{\lambda}$$

- Conditions d'irradiation de référence (TRS 398)
- Faisceaux de référence du LNHB
- Truebeam (Varian)
- Energie 6 MV FFF
- Débit de dose 1000 UM/min



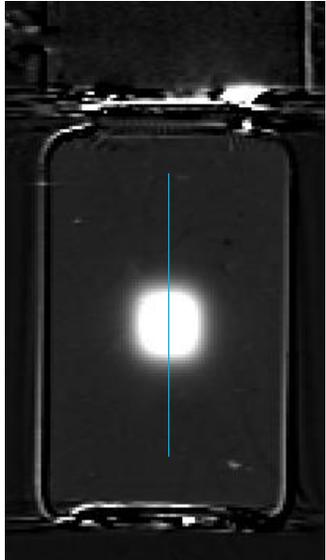
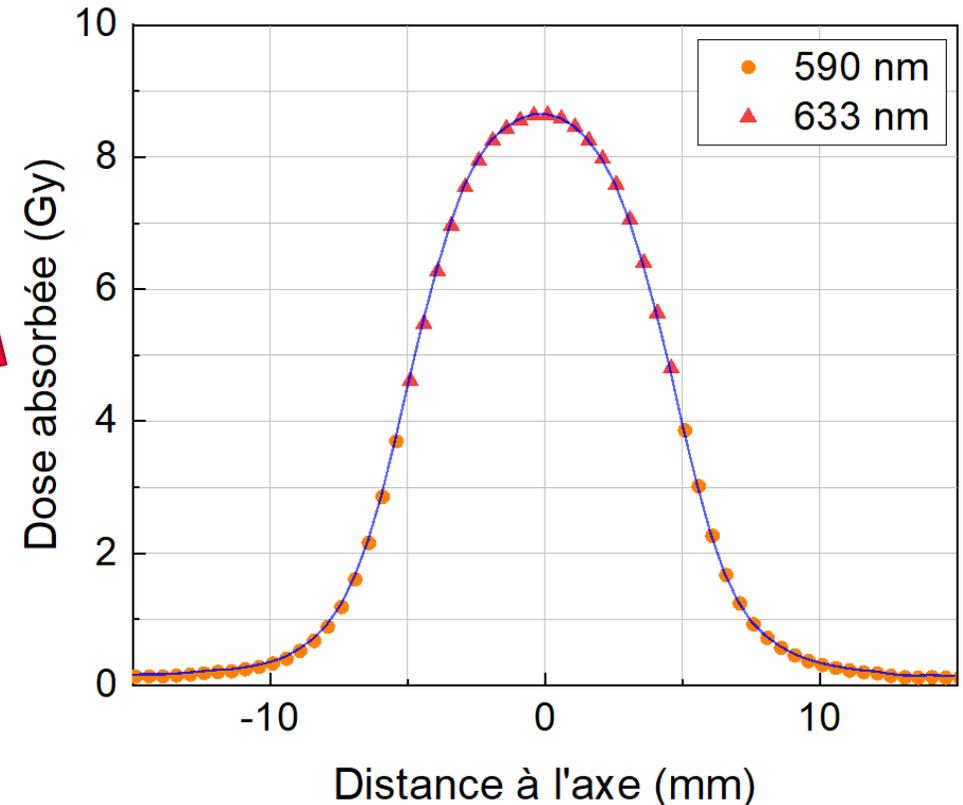
Incertitudes sur la dose : 0,49 % (k=1)

Incertitudes sur $\Delta\mu$: écart-type de la ROI sélectionnée au centre du flacon

Etape 2 : Mesure de profil en champ d'irradiation 1 x 1 cm²Superposition des profils aux deux
longueurs d'onde :

Combinaison des deux profils :

- < 4 Gy : lecture à 590 nm
- 4 à 10 Gy : lecture à 633 nm

Coupe axiale au
centre du flaconDemande de
brevet déposée

Comparaison avec détecteur microDiamond 60019 (PTW) :

- Dosimètre de référence pour les mesures 2D en petits champs d'irradiation
- Validation de la méthode de double lecture



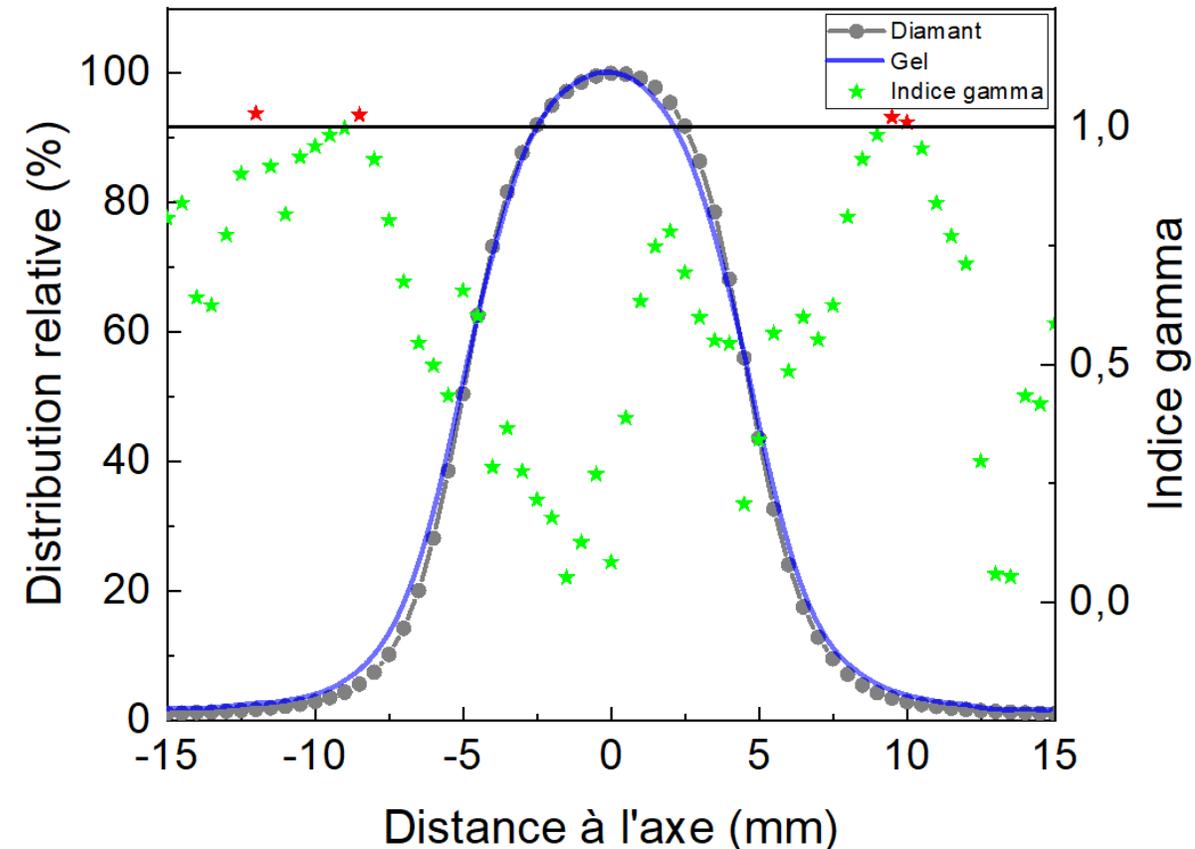
Détecteur microDiamond 60019 (PTW)

Détecteur	microDiamond	Gel FXG
Largeur à mi-hauteur (mm)	9,7	9,9
Pénombre (80%-20%) (mm)	2,9	3,3

↓
 $\Delta < 0,5 \text{ mm}$

Analyse par gamma-index global :

- 93,4 % des points satisfont le critère gamma 0,5 %/0,5 mm
- 100 % des points satisfont le critère gamma 1 %/1 mm



- **Contrôle qualité 3D end-to-end** : tester l'ensemble du processus de traitement que les patients rencontrent à l'hôpital
- Accélérateur **CyberKnife®** (Accuray) pour la radiothérapie stéréotaxique
- **Fantôme anthropomorphique de type tête** : **contrôle qualité** pour les traitements de tumeurs intracrâniennes

**GUSTAVE
ROUSSY**
CANCER CAMPUS
GRAND PARIS

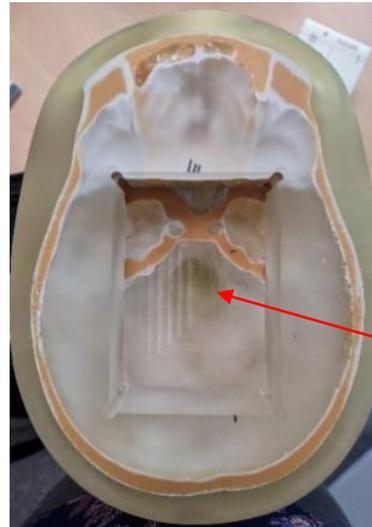


CyberKnife et fantôme tête,
Gustave Roussy

Vue de profil



Vue de dessus

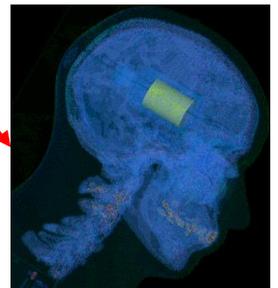


- **Insert** usiné dans un **plastique équivalent-eau** pour la dosimétrie 3D par gel

- Acquisition d'un **scan CT** du fantôme tête et du gel avec un **scanner de planification**
- Elaboration du **plan de traitement** : volumes de la tumeur et des organes à risque
- **Imagerie de pré-positionnement** intégrée dans l'accélérateur = acquisition d'images par rayons X de faibles énergies : impact des doses délivrées **négligeable**
- **Etalonnage** du gel FXG à 590 nm et 633 nm :
 - Plusieurs flacons irradiés à des doses connues jusqu'à 10 Gy
 - **Conditions d'irradiation de références du TRS 398** sur l'accélérateur Truebeam de DOSEO
 - Vérifier la traçabilité métrologique des mesures de dose dans les conditions de références (cuve à eau) aux mesures de doses en conditions cliniques par **simulations Monte Carlo**
- **Délivrance** du plan de traitement par le CyberKnife®
- **Comparaison** des distributions de dose 3D mesurées avec le gel et planifiées : **évaluation du TPS** (= logiciel de planification de traitement)



Scanner Siemens, Gustave Roussy



- **Nouvelle méthode de double lecture du gel FXG développée par tomographie optique :**
 - Evaluation des **faibles et fortes doses** (0,25 Gy à 10 Gy),
 - Distributions spatiales de dose en 3D de **haute résolution spatiale** (0,5 x 0,5 x 0,5 mm³),
 - Validation de la méthode dosimétrique dans un **cas simple de profil de dose** en petit champ d'irradiation **1 x 1 cm²**
- Valider la **faisabilité d'utilisation** de la méthode dosimétrique {gel FXG + scanner optique Vista16™} lors de la mise en place du **contrôle qualité 3D end-to-end** en **conditions cliniques stéréotaxiques** sur l'accélérateur CyberKnife®
- Si la faisabilité d'utilisation est validée :
 - Application aux **contrôles qualité plus complexes** sur des **fantômes anthropomorphiques dynamiques** (tumeur mobile dans le thorax, l'abdomen...),
 - Evaluation de distributions de dose 3D **calculées** par de **nouveaux détecteurs** (ArcCHECK®, etc.) avec nos mesures par gel



Fantôme thorax dynamique Quasar (ModusQA)



ArcCHECK® (Sun Nuclear)



Merci pour votre attention

Alice Rousseau

