

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



Développement d'un **Dosimètre Diamant** pour une Mesure de la Dose Absorbée dans les **Mini-Faisceaux** utilisés en Radiothérapie Stéréotaxique : Projet DIADOMI



SFRP 19 novembre 2013 | Dominique Tromson

www.cea.fr



INTRODUCTION

- Problématique dosimétrique liée aux mini-faisceaux
- Etat de l'art des dosimètres diamant mini-faisceaux
- Présentation du projet DIADOMI

DIMENSIONNEMENT DES DOSIMETRES

- Etude des dimensions du diamant
- Etude des dimensions des électrodes
- Etude des dimensions de l'encapsulation

MESURES EN CONDITIONS CLINIQUES AVEC SCDD₀ OPTIMISE

- Caractérisations en champ standard
- Mesures en mini-faisceaux sur les installations de DIADOMI

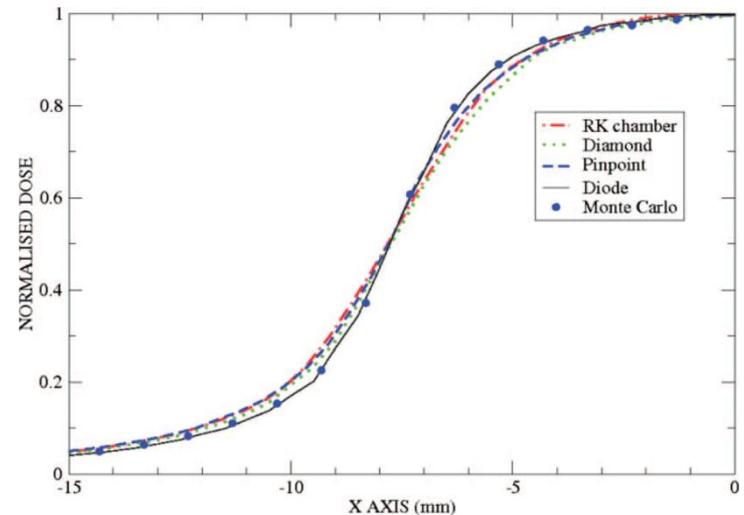
INTRODUCTION

Problématique dosimétrique liée aux mini-faisceaux

- Manque d'équilibre électronique latéral
 - Nécessité d'avoir un **détecteur équivalent-eau**

- Volume de détection trop large par rapport à la taille de champ
 - Elargissement des pénombres
 - Sous-estimation du FOC

DIAMANT : candidat idéal pour la dosimétrie active en mini-faisceaux ($Z=6$, densité élevée)



Etat de l'art des dosimètres diamant mini-faisceaux

■ Diamant naturel PTW 60003

- **Volume** sensible de 1 à 6 mm³, **trop large** pour les mini-faisceaux
- Sélection drastique : **Prix élevés** et délais de livraison longs
- **Dépendance avec le débit de dose** (4,3 % entre 0,5 et 2 Gy/min)^[1]
- **Faible dépendance avec l'énergie** (1 % entre du 6 MV et 25 MV)^[2]
- Pré-irradiation de 5 à 15 Gy



■ Diamant polycristallin CVD

- Premier diamant synthétique à avoir été testé en dosimètre
- Différentes études de 2004 à 2011^{[3] [4] [5] [6] [7]} : **limitations** pour la dosimétrie
- **Faible rapport signal sur bruit**
- **Instabilité** du signal sous irradiation
- **Temps de réponse lents**
- Pré-irradiation jusqu'à **150 Gy** pour atteindre la stabilité ^[4]

[1] Hoban et al., *Phys. Med. Biol.*, vol 39, 1994

[2] De Angelis et al., *Med. Phys.*, vol 29, 2002

[3] Fidanzio et al., *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, vol 524, 2004

[4] De Angelis et al., *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, vol 583, 2007

[5] Descamps et al., *Radiat. Meas.*, vol 43, 2008

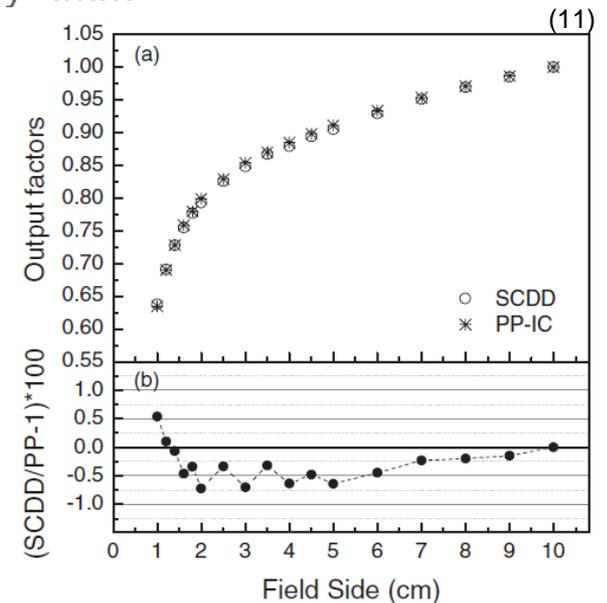
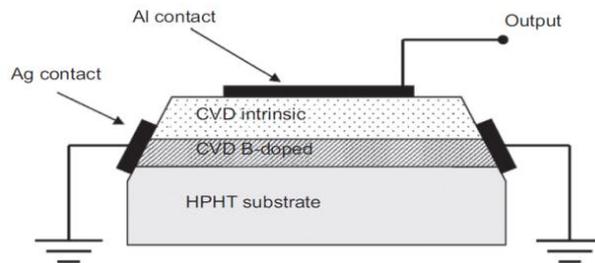
[6] Lansley et al., *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, vol 607, 2009

[7] Bruzzi et al., *Diam. Rel. Mat.*, vol 20, 2011

Etat de l'art des dosimètres diamant mini-faisceaux

Diamant monocristallin CVD [8] [9] [10] [11]

- Meilleures performances que le polycristallin en champ standard
- Pré-irradiation nécessaire
- Bonne stabilité du signal
- Bonne linéarité avec la dose
- Dépendance avec le débit de dose variable, selon les études
- Bonne sensibilité : de $165 \text{ nC.Gy}^{-1}.\text{mm}^{-3}$ à $525 \text{ nC.Gy}^{-1}.\text{mm}^{-3}$
- Efficacité de collecte de charges $< 100 \%$
- Aucun résultat satisfaisant en mini-faisceaux



[8] Tromson et al., *Diam. Rel. Mat.*, vol 19, 2010

[9] Schirru et al., *J. Phys. D*, vol 43, 2010

[10] Betzel et al., *Phys. Med.*, vol 28, 2012

[11] Ciancaglioni et al., *Med. Phys.*, vol 39, 2012

Le projet DIADOMI



Développement d'un dosimètre DIAMant pour la mesure de la DOse absorbée dans les Mini-faisceaux utilisés en radiothérapie stéréotaxique

IRSN

➤ expertise mini-faisceaux, simulations Monte Carlo, mesure avec les dosimètres passifs

centres hospitaliers et CLCC

La Pitié Salpêtrière, Paris
Centre de Cancérologie de Lorraine, Nancy
Centre René Gauducheau, Nantes
Centre Léon Berard, Lyon

➤ cahier des charges pour le dosimètre et mesure sur installations cliniques

CEA-LIST

CEA-LIST

LCD, L2MS, LNHB

➤ fabrication, simulation, caractérisations en conditions standards et mini-faisceaux du dosimètre diamant

Plassys-Bestek

➤ procédé industriel de croissance de diamant

OPTIMISATION DES DOSIMÈTRES

Développement du dosimètre diamant à l'aide de simulations Monte Carlo

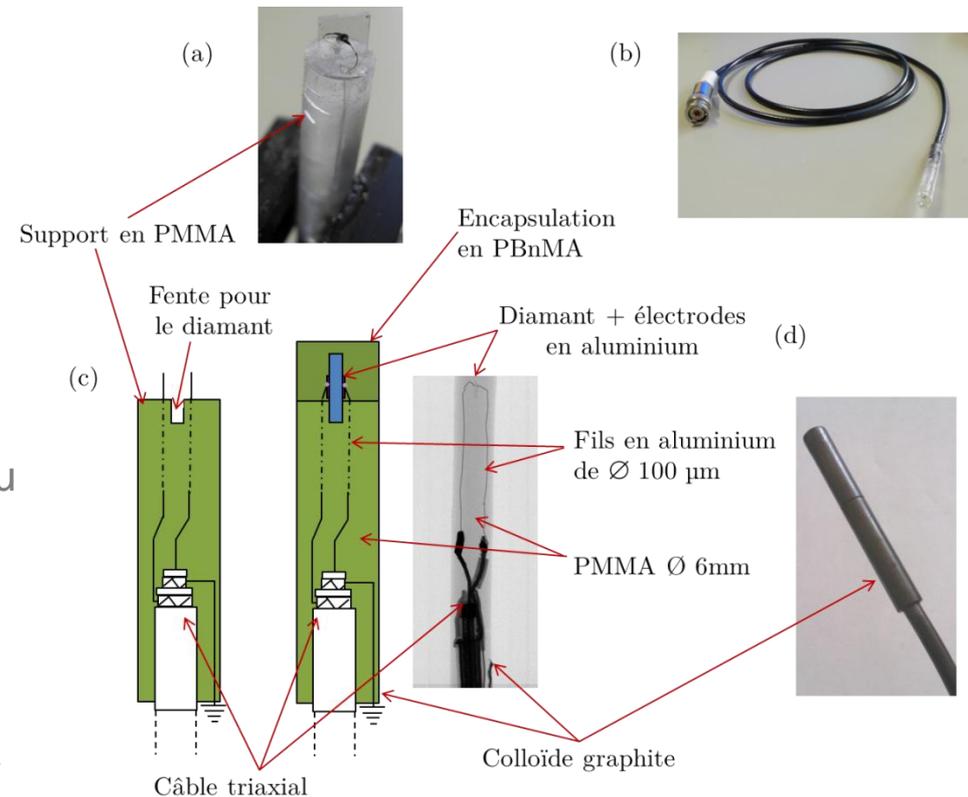
SCDDo développé au CEA :

☐ Matériaux équivalents-eau

- ✓ Diamant : $Z=6$
- ✓ Electrodes en aluminium
- ✓ Encapsulation dans PMMA et PBnMA
- ✓ Résine graphite pour connecter les fils au diamant

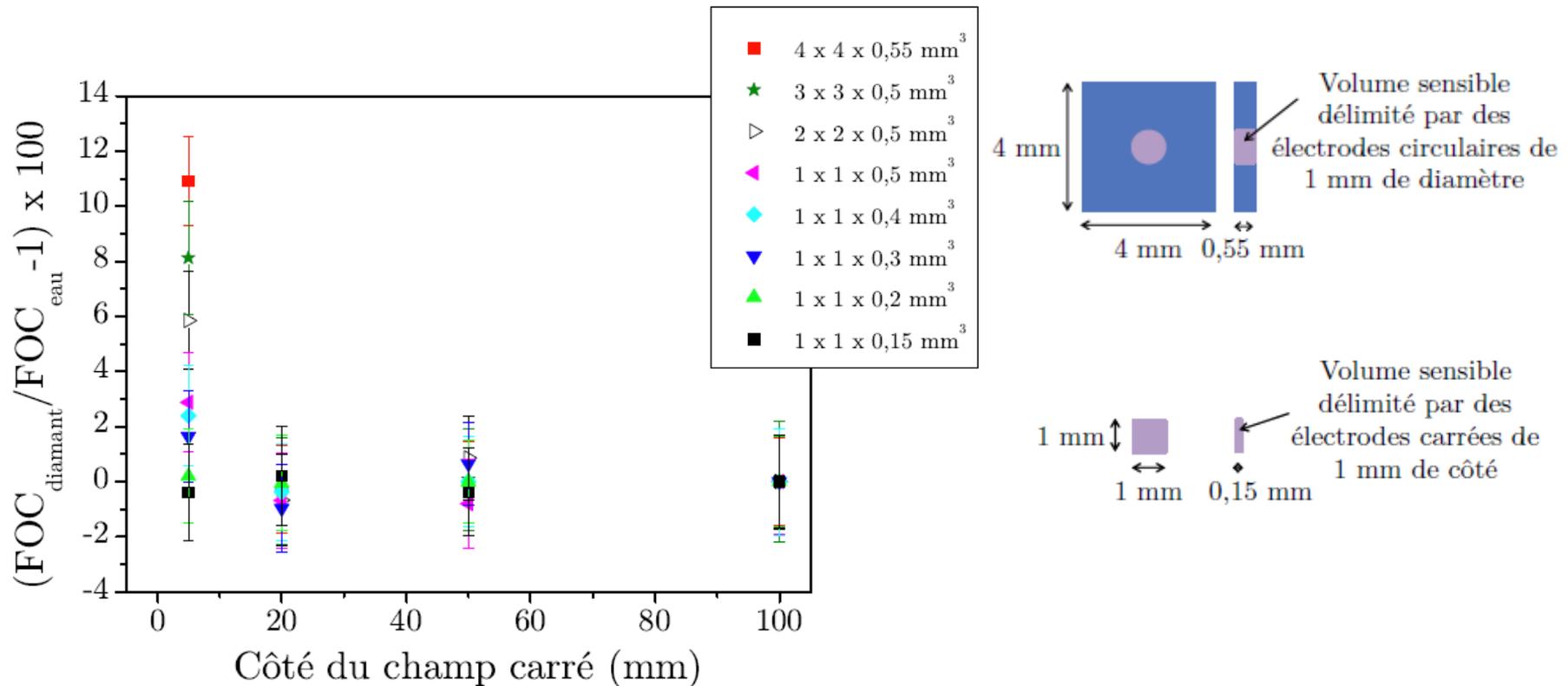
☐ Bonne isolation électrique, faible bruit

- ✓ Câble triaxial
- ✓ Graphite conducteur autour du détecteur



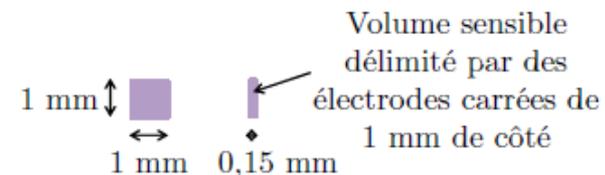
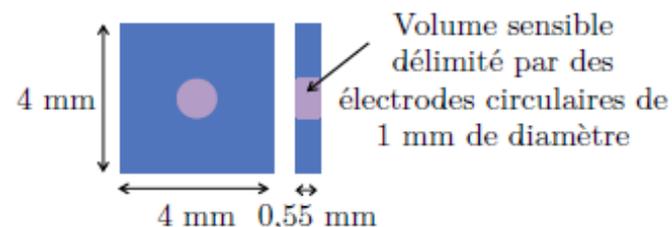
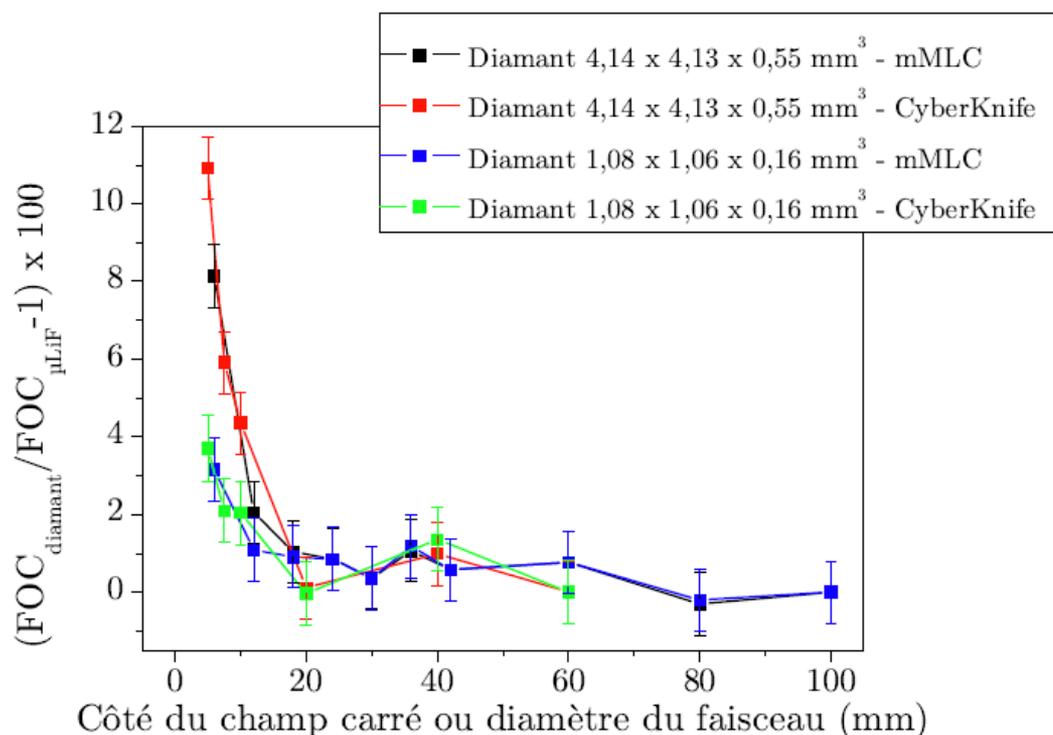
Etude des dimensions du diamant

- **Calcul des FOC** par simulations MC pour **différentes dimensions de diamant** avec des **contacts de 1 mm** de côté ou de diamètre



Etude des dimensions du diamant

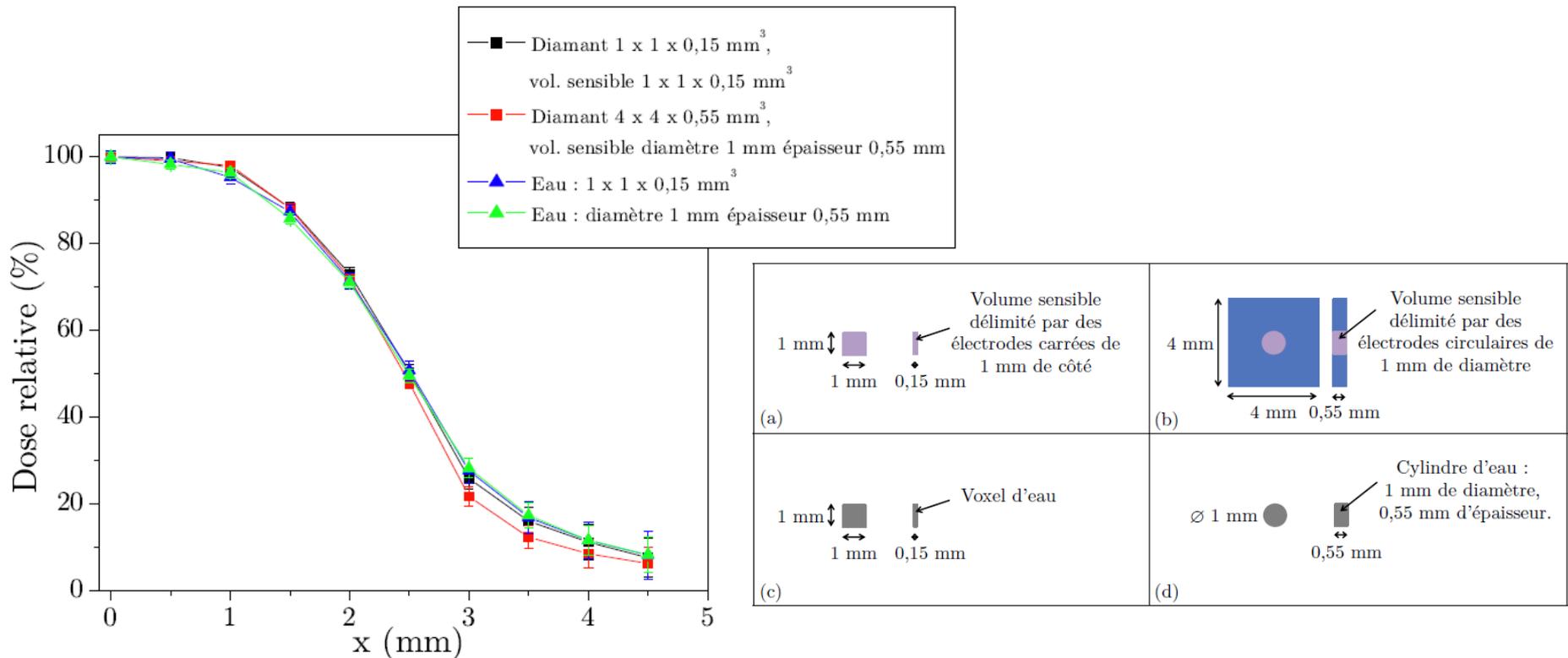
- **Mesures des FOC pour différentes dimensions de diamant avec des contacts de 1 mm de côté ou de diamètre**



→ Diminuer les dimensions du diamant (1 x 1 x 0,2 mm³) pour ne pas surestimer le FOC mini-faisceaux

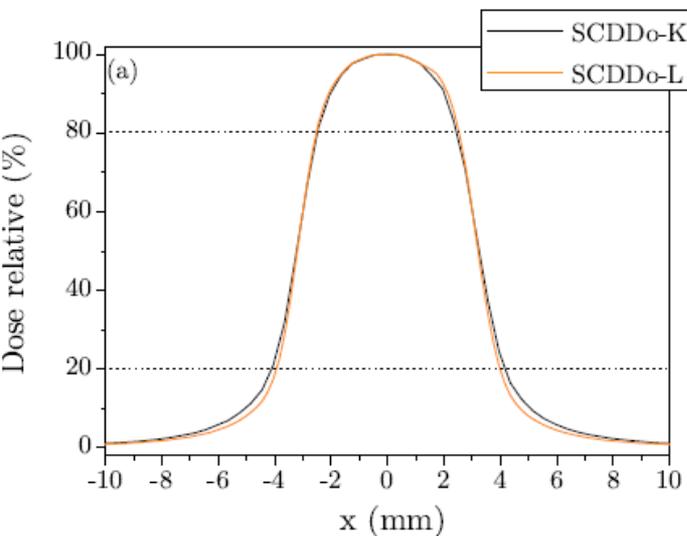
Etude des dimensions du diamant

- **Calcul des profils** pour différentes dimensions de diamant avec des contacts de 1 mm de côté ou de diamètre

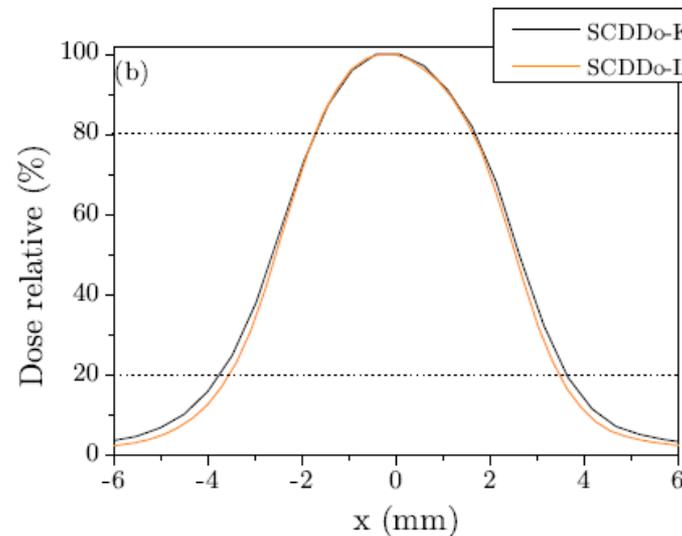


Etude des dimensions du diamant

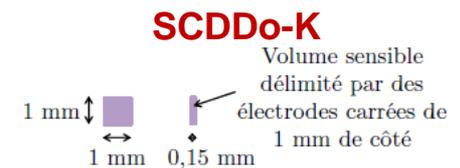
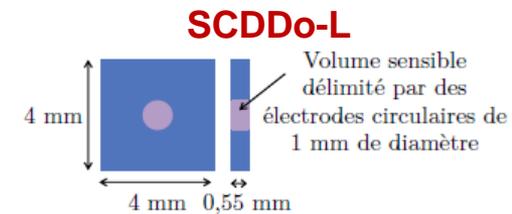
- **Mesures des profils** pour différentes dimensions de diamant avec des contacts de 1 mm de côté ou de diamètre



**Accélérateur Varian +
mMLC (PSL)**



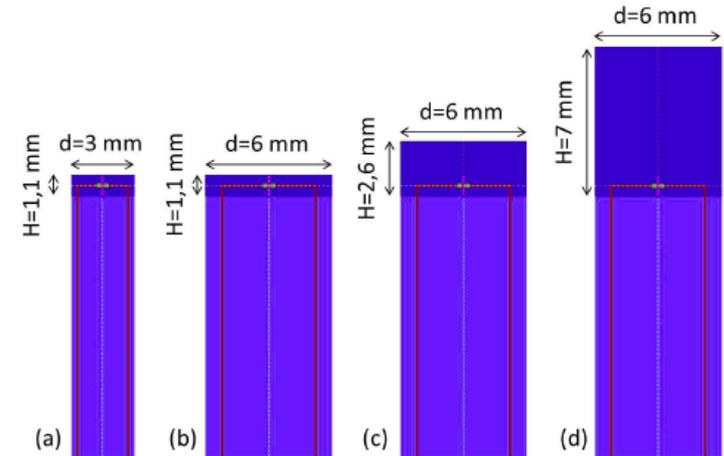
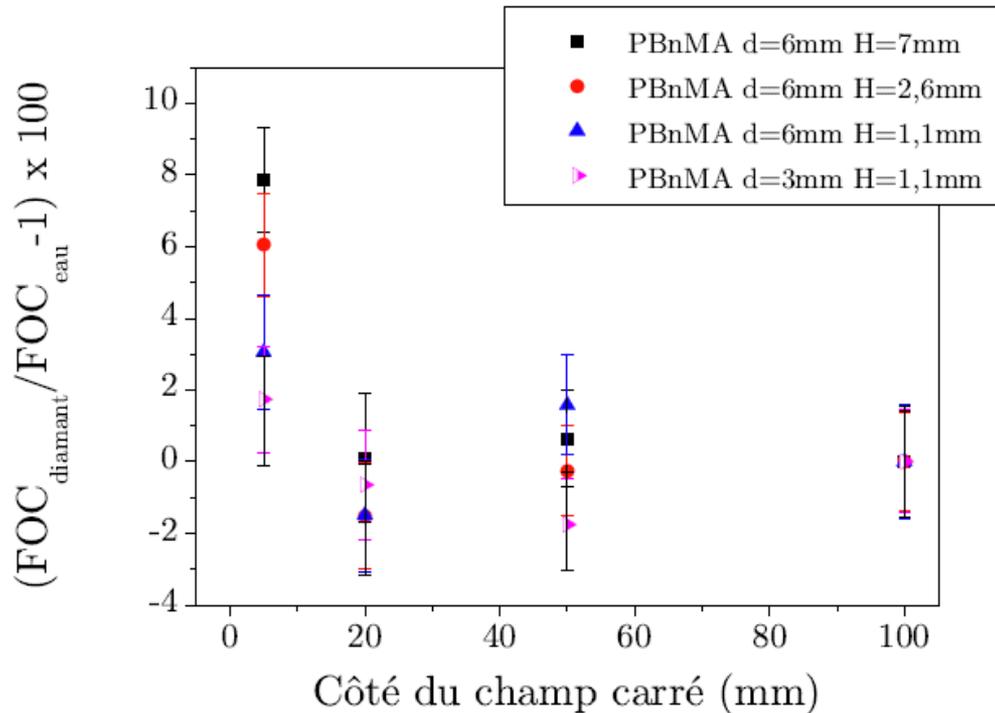
**Accélérateur
CyberKnife (Nancy)**



→ Diminuer les dimensions du diamant ($1 \times 1 \times 0,2 \text{ mm}^3$) pour ne pas sous-estimer les valeurs de pénombres

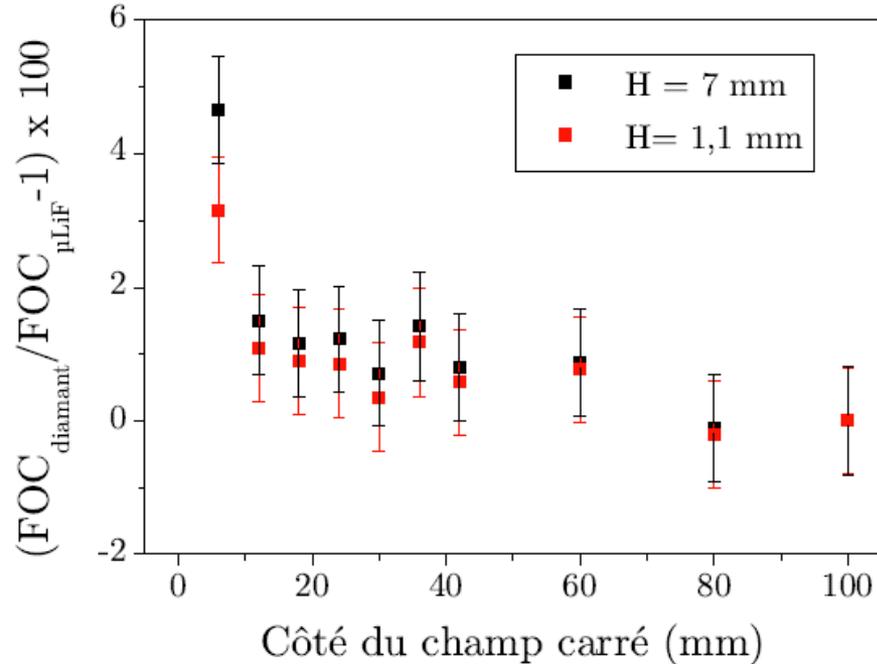
Etude des dimensions de l'encapsulation

- **Calcul des FOC** pour différentes hauteurs d'encapsulation avec un diamant de $1 \times 1 \times 0,15 \text{ mm}^3$ et des contacts de 1 mm de côté :



Etude des dimensions de l'encapsulation

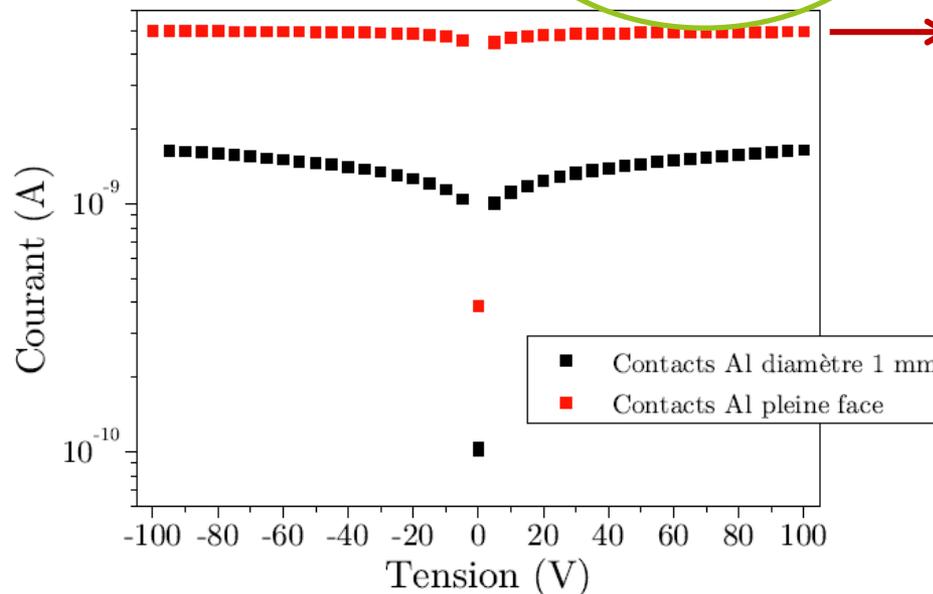
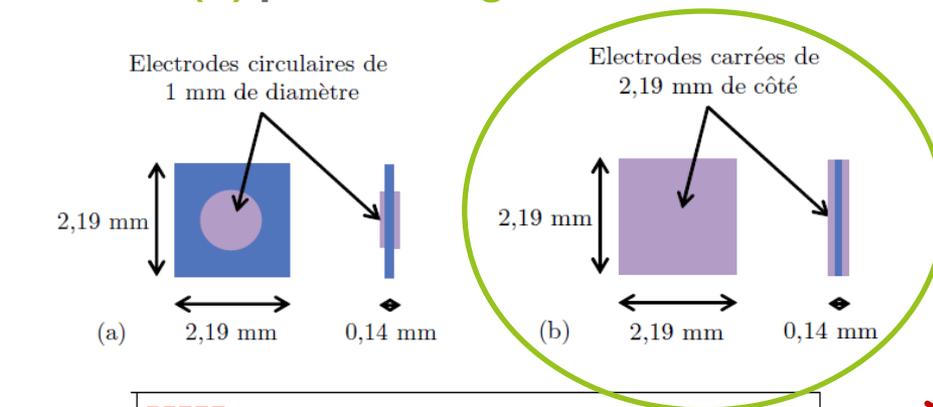
- **Mesures des FOC** pour **différentes hauteurs d'encapsulation** avec un diamant de $1 \times 1 \times 0,15 \text{ mm}^3$ et des contacts de 1 mm de côté :



→ **Diminuer la hauteur de l'encapsulation pour diminuer la valeur du FOC mini-faisceaux**

Etude des dimensions des électrodes

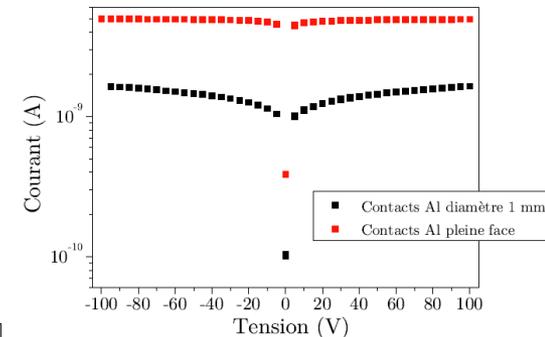
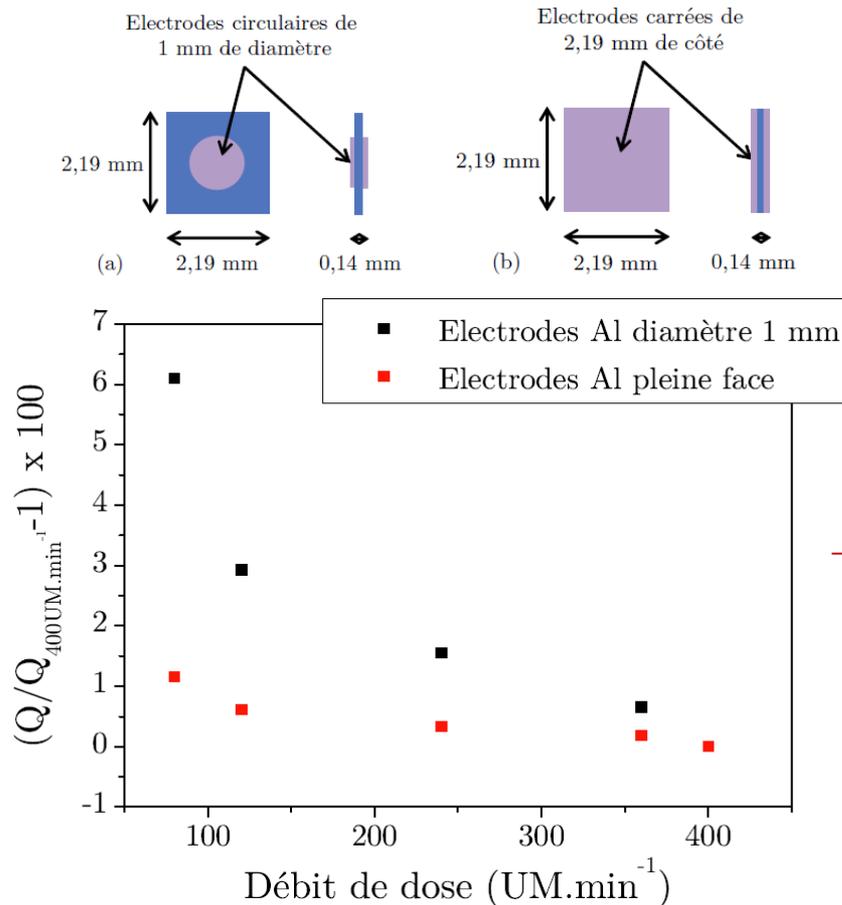
- **Mesures des courbes I(V) pour deux géométries d'électrodes sur un même diamant :**



100 % d'efficacité de collecte des charges

Etude des dimensions des électrodes

- **Mesures** de la charge en fonction du débit de dose pour deux géométries d'électrodes sur un même diamant :



Polarisation à + 50 V

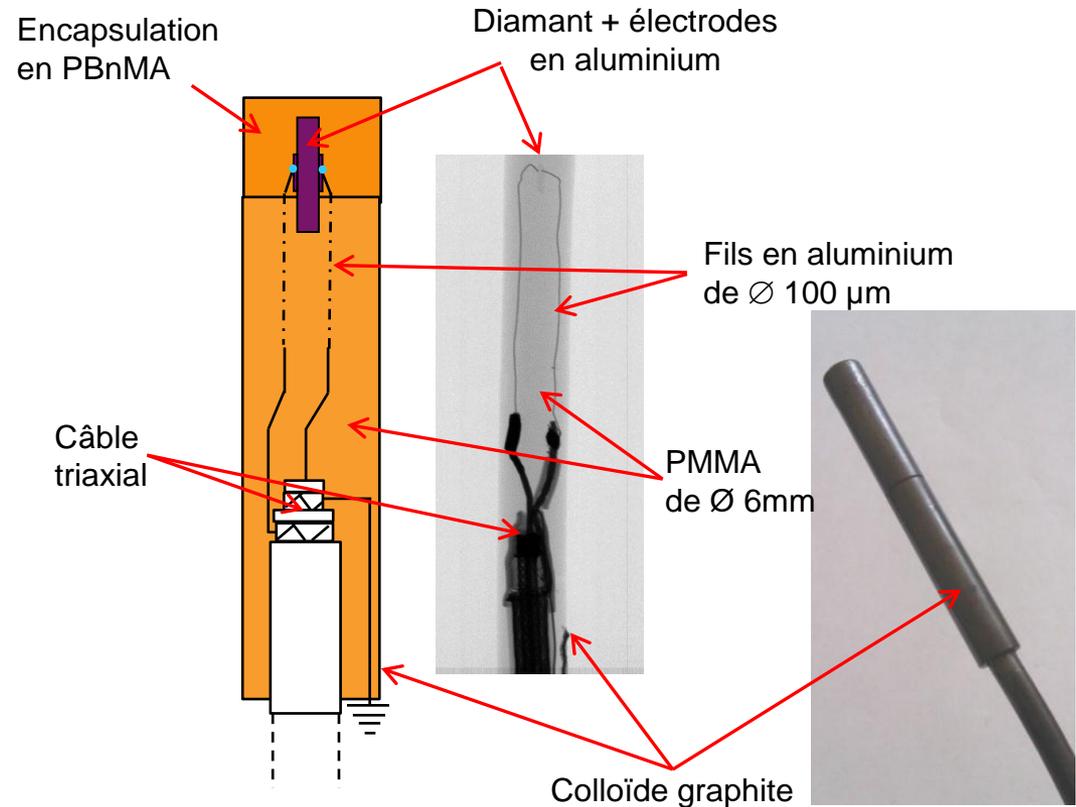
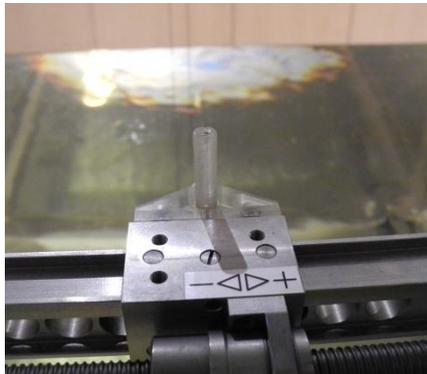
Accélérateur Varian +
mMLC (PSL)

→ Electrodes pleine face pour ne pas avoir de dépendance avec le débit de dose

**MESURES EN CONDITIONS CLINIQUES
AVEC SCDDO OPTIMISÉ**

dosimètres réalisés à partir d'un diamant de
1 x 1 x 0,15 mm³, avec des contacts pleine face

SCDDo-K : contacts alu
SCDDo-W : contacts DLC



□ Répétabilité :

$\sigma / M = 0,06 \%$ pour 10 irradiations consécutives de 66 cGy.

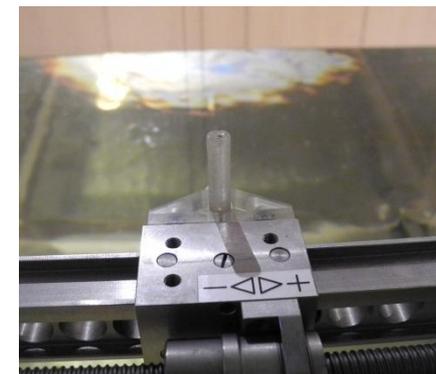
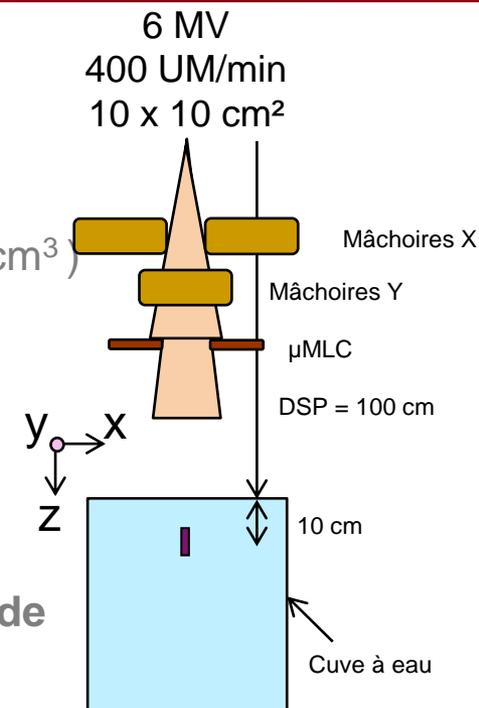
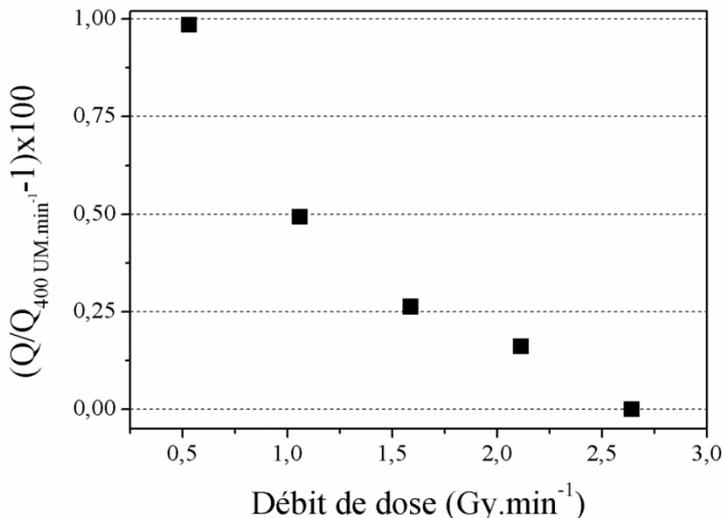
□ Sensibilité : 44,5 nC.Gy⁻¹ pour un volume de 0,165 mm³

(Chambre d'ionisation : 10 nC.Gy⁻¹ pour un volume de 0,3 cm³)

□ Linéaire avec la dose (10-900 UM)

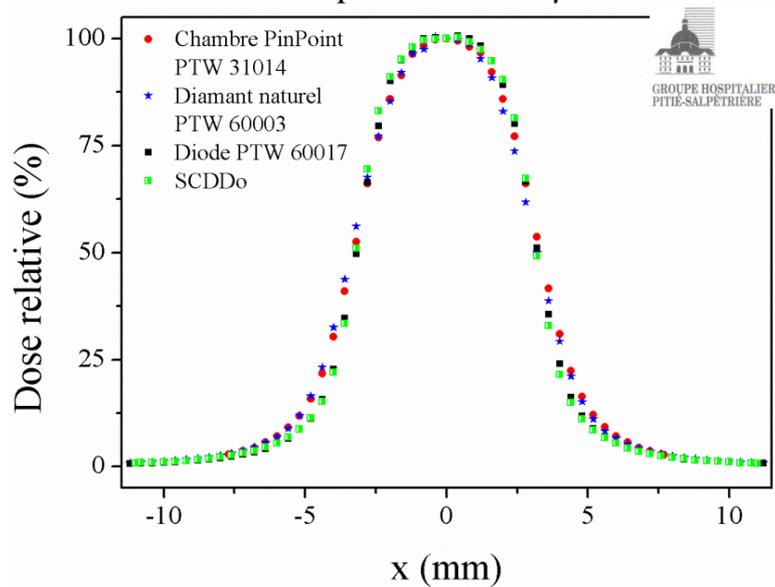
□ Dépendance avec l'énergie : Faible variation de la charge mesurée entre 6 MV et 18 MV, pour une dose de 66 cGy: 1,2 %.

□ Dépendance avec le débit de dose : Variation < 1 % dans la gamme de débit 0,53 – 2,54 Gy.min⁻¹

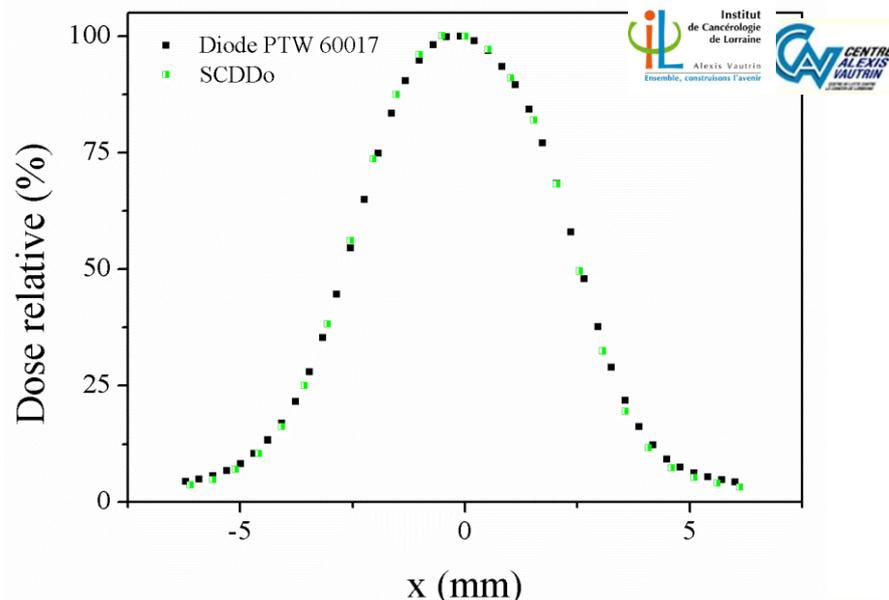


☐ Mesures de profils de dose :

Champ 6 x 6 mm² - μMLC



Collimateur diamètre 5 mm - CyberKnife



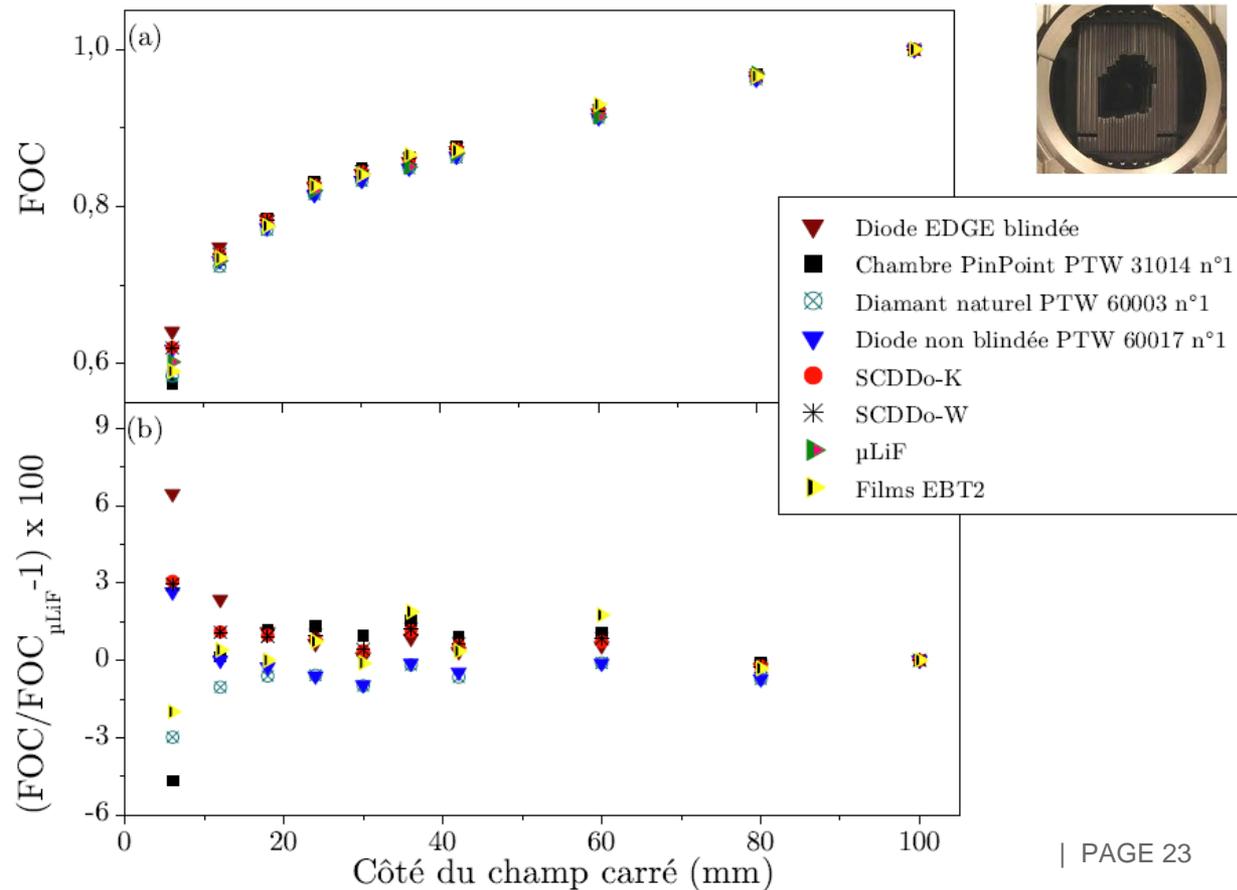
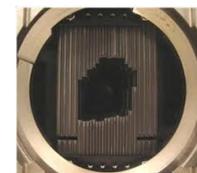
Taille de champ	Pénombre (mm)			
	SCDDo	Diode PTW 60017	Chambre PinPoint PTW 310014	Diamant naturel PTW 60003
6 x 6 mm ² μMLC	1,64	1,79	2,28	2,34
Diamètre 5 mm CyberKnife	2,01	2,11	-	-



SCDDo : Excellente résolution spatiale.

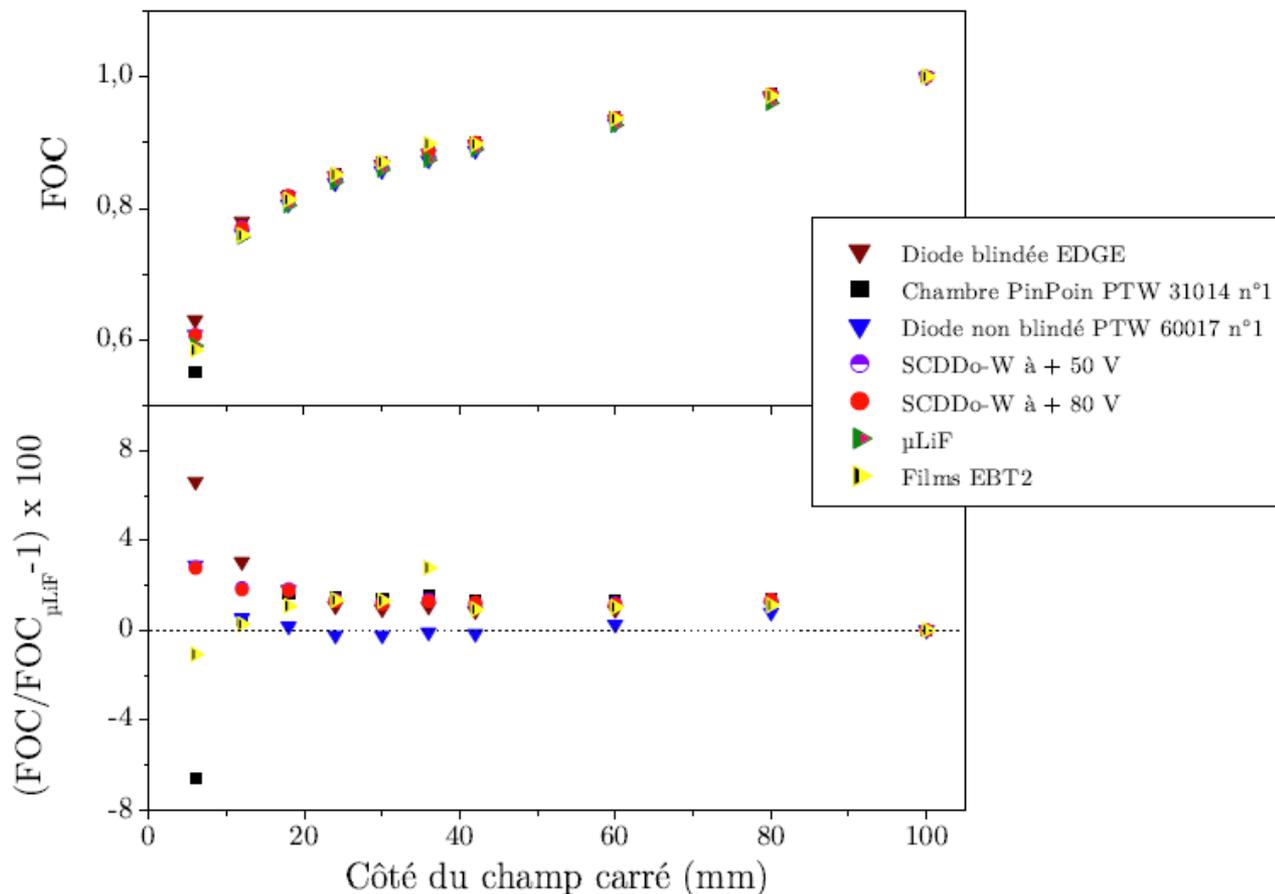
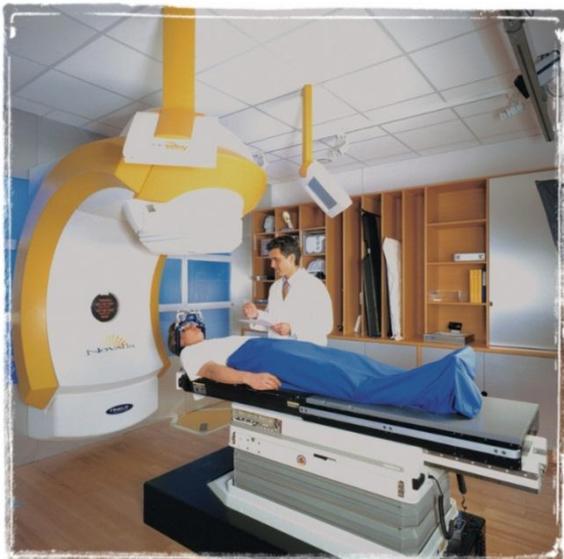
Accélérateur VARIAN Clinac 2100C avec μ MLC m3 de BRAINLAB
Hôpital de la Pitié-Salpêtrière, Paris

6 MV, 400 UM/min, DSP 100 cm, SCDDo à 10 cm de profondeur



Ecart entre SCDDo et μ LiF < 3 %

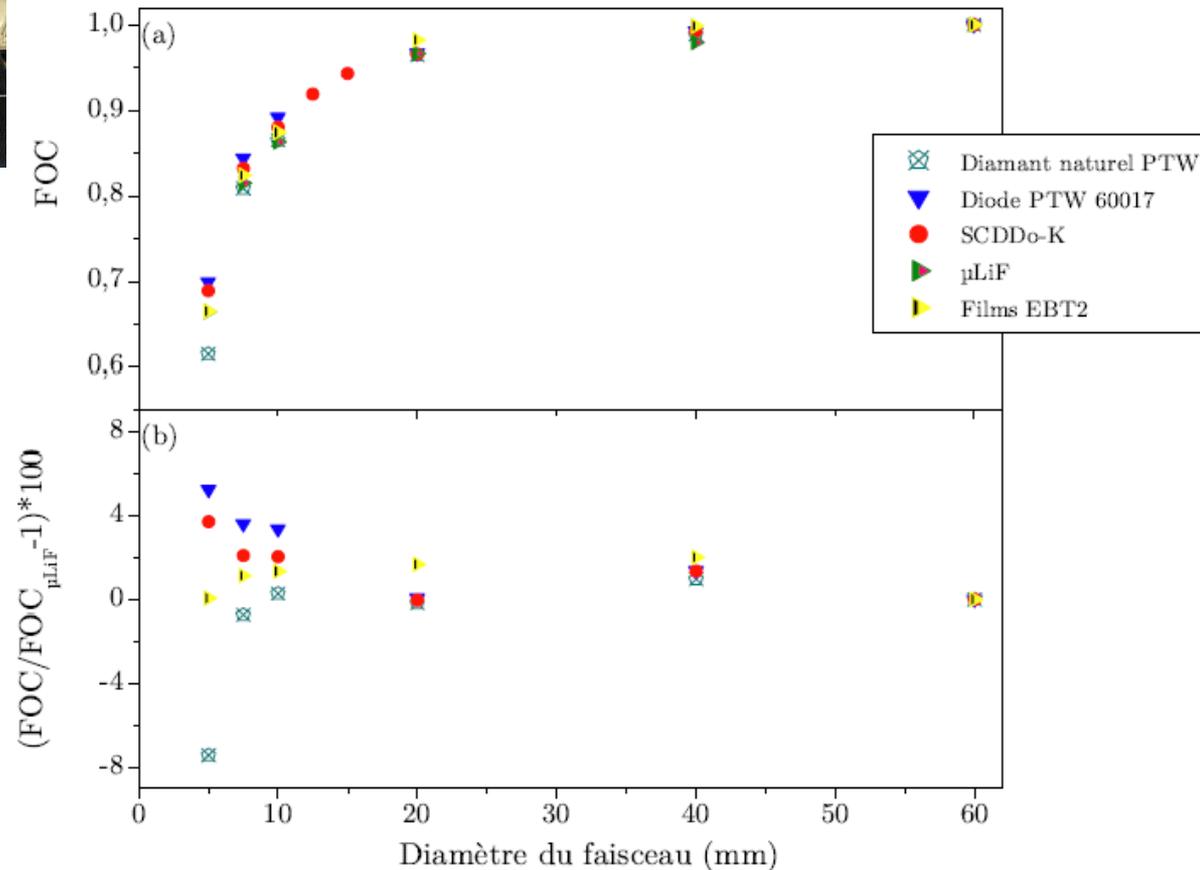
Accélérateur Novalis
Centre René Gauducheau, Nantes



Ecart entre SCDDo et μLiF < 2,8 %

CyberKnife ACCURAY avec collimateurs circulaires
Institut de Cancérologie de Lorraine Alexis Vautrin, Nancy

6 MV, 600 UM/min, DSD 80 cm, SCDDo à 1,5 cm de profondeur.



Ecart entre SCDDo et μLiF < 3,7 %

- ❑ Dosimètre proche de l'équivalence-eau
- ❑ Linéarité avec la dose
- ❑ Faible dépendance avec le débit de dose (< 1%)
- ❑ Faible dépendance avec l'énergie (< 1,2 % entre 6 MV et 18 MV)
- ❑ Profils de dose : très bonne résolution spatiale



- ❑ FOC :

- Champs standards: en accord à 1 % avec la chambre PinPoint, 2 % avec les passifs
- **Mini-faisceaux :**
 - supérieurs aux détecteurs ayant un gros volume de détection : chambre d'ionisation de type PinPoint et diamant naturel PTW.
 - inférieurs à la diode EDGE blindée
 - écarts entre passifs et SCDDo compris entre 2,8% et 3,7% pour le plus petit faisceau.

DOSIMÈTRE DIAMANT SCDDo :
POTENTIELLEMENT APPLICABLE AUX MINI-FAISCEAUX,
FINALISATION EN COURS



Régis Hugon
Maïwenn Le Roy
Fanny Marsolat
Aimé Ostrowsky
Bénédicte Poumarède
Nicolas Tranchant
Dominique Tromson



Céline Bassinet
Isabelle Clairand
Sylvie Derreumaux
Christelle Huet



Stéphanie Gaudaire-Josset
Albert Lisbona



Gilbert Boisserie
Michel Chea
Kevin Cristina
Catherine Jenny



Luc Héliot
François Silva



Chantal Ginestet
Frédéric Gassa



Isabelle Buchheit
Vincent Marchesi