



INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

DOSIMETRIE DES MINI-FAISCEAUX DE PHOTONS UTILISES EN RADIOTHERAPIE : ENJEUX ET PROTOCOLES

Christelle HUET¹, Céline BASSINET¹, Cyril MOIGNIER¹, Sylvie
DERREUMAUX², Isabelle CLAIRAND¹

¹ IRSN, PRP-HOM, Service de Dosimétrie Externe, Laboratoire de
Dosimétrie des Rayonnements Ionisants

² IRSN, PRP-HOM, Service d'Etudes et d'expertise en Radioprotection,
Unité d'Expertise en radioprotection Médicale

Contexte (1)

➤ Radiothérapie externe conformationnelle standard

- Utilisation de faisceaux de photons de haute énergie pour détruire les cellules malades
- Champs de traitement larges (quelques cm à plusieurs dizaines de cm)

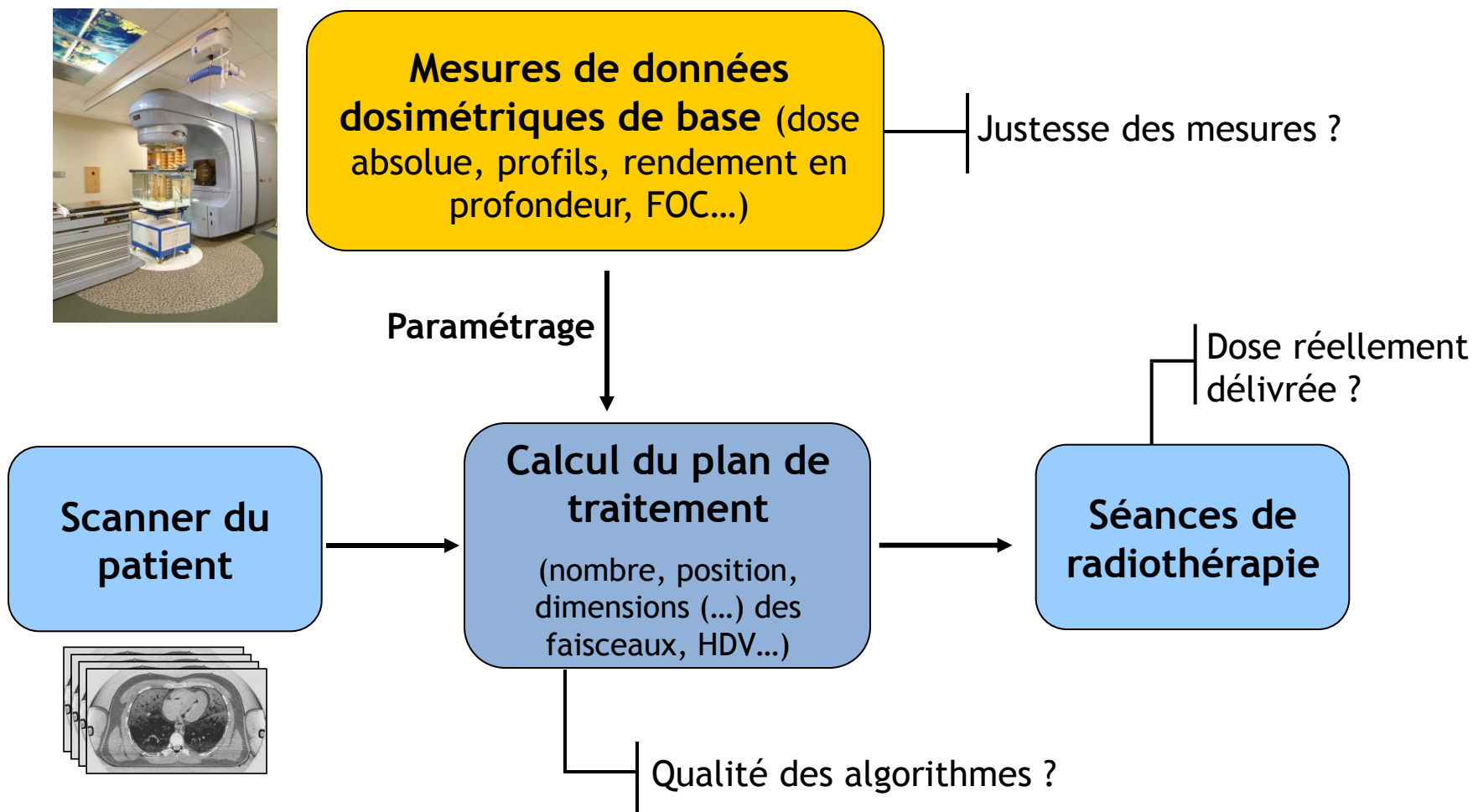
➤ Radiothérapie stéréotaxique

- Utilisation de faisceaux de **petites dimensions** (diamètre ou côté du champ inférieur à 3 cm) permettant de traiter de petites tumeurs tout en épargnant les tissus sains à proximité
- Basé sur l'utilisation d'accélérateurs conventionnels équipés de mini collimateurs multi-lames (MLC) ou d'un jeu de collimateurs coniques ou de systèmes dédiés (CyberKnife)



Contexte (2)

➤ Planification de traitement en radiothérapie



Contexte (3)

➤ Dosimétrie des mini-faisceaux problématique

- Taille de champ petite (entre 4 mm et 30 mm)
- Manque d'équilibre électronique latéral
- Forts gradients de dose
- Variation du spectre en énergie en fonction de la taille du champ



Nécessité d'avoir des détecteurs avec une bonne résolution spatiale et une bonne équivalence tissu

Contexte (4)

➤ **Accident de radiothérapie** (Novalis, CHU Rangueil, Toulouse, 2007)

➤ **Saisine ASN-AFSSAPS**: établissement d'un protocole national d'étalonnage des mini-faisceaux

- Mise en place d'un groupe de travail piloté par l'IRSN

- Conclusions du GT (rapport décembre 2008)

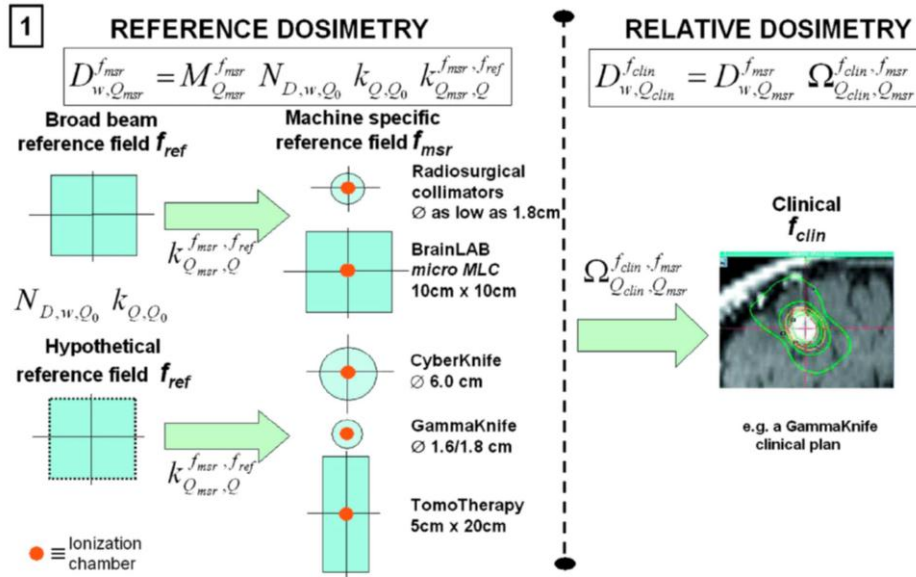
- Mise en évidence de variations significatives dans l'estimation des FOC* pour ce type de faisceaux en France
- Manque de consensus méthodologique international et de références métrologiques associées
- Pas de consensus quant au meilleur détecteur à utiliser



* FOC (facteur d'ouverture du collimateur): facteur permettant de calculer le débit de dose sur l'axe pour n'importe quelle taille de champ

Contexte (5)

- En 2007: mise en place d'un groupe de travail international piloté par l'AIEA
- En 2008 : proposition par ce groupe d'un nouveau formalisme pour la dosimétrie de référence des petits champs et des champs non-standards (Alfonso et al., Med. Phys.)



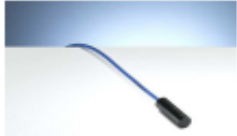
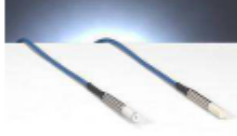
- Champ de référence spécifique à une machine donnée
- Champs cliniques

Les facteurs permettant d'obtenir la dose absorbée dans l'eau pour n'importe quelle taille de champ clinique à partir de la dose absorbée dans le champ de référence spécifique à la machine peuvent être déterminés par simulation Monte Carlo ou par des mesures avec des détecteurs.

Contexte (6)

- Mi-2009: mise en place d'un programme de recherche à l'IRSN visant à établir un protocole de mesure des FOC
- Approche méthodologique :
 - Mesures de FOC avec plusieurs systèmes de détection auprès de plusieurs types d'installations délivrant des mini-faisceaux
 - Approcher le FOC de référence (modélisations Monte Carlo et mesures expérimentales)
 - Proposer des recommandations quant aux détecteurs à utiliser et les éventuels facteurs de correction associés
 - Etablir un protocole de mesure des FOC

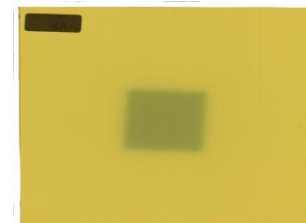
Détecteurs actifs du commerce

Type	Référence	Volume (mm ³)	Matériaux	Illustrations
Chambres	PinPoint PTW 31014	15	air, PMMA, graphite, aluminium	
	microLion PTW 31018	1,7	isooctane, polystyrène	
Diodes	SFD	0,017	silicium	
	EDGE Sun Nuclear	0,019	silicium, cuivre, laiton	
	PTW 60016 P	0,03	silicium, acier	
	PTW 60017 E	0,03	silicium	
Diam- ant	PTW 60003	1,4	carbone, polystyrène	

Dosimètres passifs

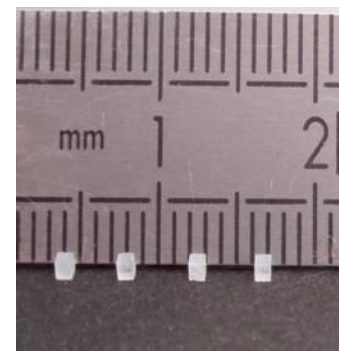
■ Films radiochromiques EBT2 (ISP)

- Film auto-développant de bonne équivalence tissu et de bonne résolution
- Développement d'un protocole de lecture et d'analyse spécifique avec le scanner EPSON Dual Lens V700 (Huet et al., 2012)
- Incertitude sur la mesure de FOC: 3,6 % (2σ)
- Inconvénient: hétérogénéité des films



■ Micro-cubes de LiF ($^7\text{LiF:Mg,Ti}$, Harshaw)

- Cube de 1mm^3 , bonne résolution spatiale
- Développement d'un protocole de mesure spécifique (Bassinet et al., 2010) : dosimètre étalonné individuellement
- Incertitude sur la mesure de FOC: 1,5 % (2σ)
- Inconvénient: centrage du dosimètre (en manuel à l'aide d'un film radiochromique)



Mesures de FOC

- 4 installations délivrant des mini-faisceaux: CyberKnife (COL, Lille) équipé de collimateurs coniques, accélérateur Novalis (ICO, Nantes) équipé de collimateurs coniques et d'un mini-MLC, accélérateur Clinac 2100 (La Pitié Salpêtrière, Paris) équipé d'un mini-MLC

■ Conditions de mesure des FOC

Détecteurs actifs

- Dans une cuve à eau
- Centrage réalisé à l'aide de profils en X et en Y avec la plus petite taille de champ disponible
- Manche // à l'axe du faisceau pour tous les détecteurs sauf la diode EDGE

Dosimètres passifs

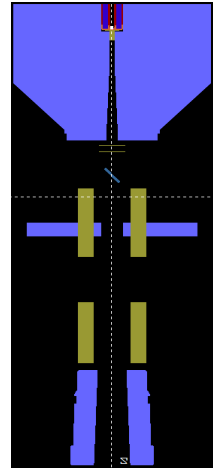
- Dans un fantôme solide équivalent eau (virtual water)
- Centrage manuel des micro-LiF à l'aide d'un film EBT2
- 4 micro-LiF par taille de champ et 3 films EBT2 par taille de champ pour les champs <10 mm

■ Mesures réalisées à minima deux fois

Approche des FOC de référence (1)

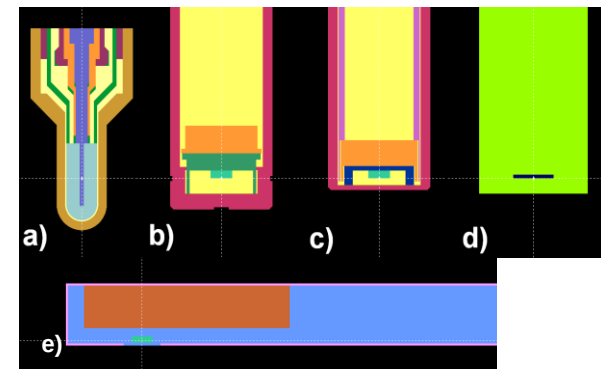
Méthodes:

- Modélisation d'une installation délivrant des mini-faisceaux (CyberKnife du COL) à l'aide du code de calcul Monte Carlo Penelope
- Modélisation avec Penelope des détecteurs utilisés pour la mesure des données de base dans les mini-faisceaux



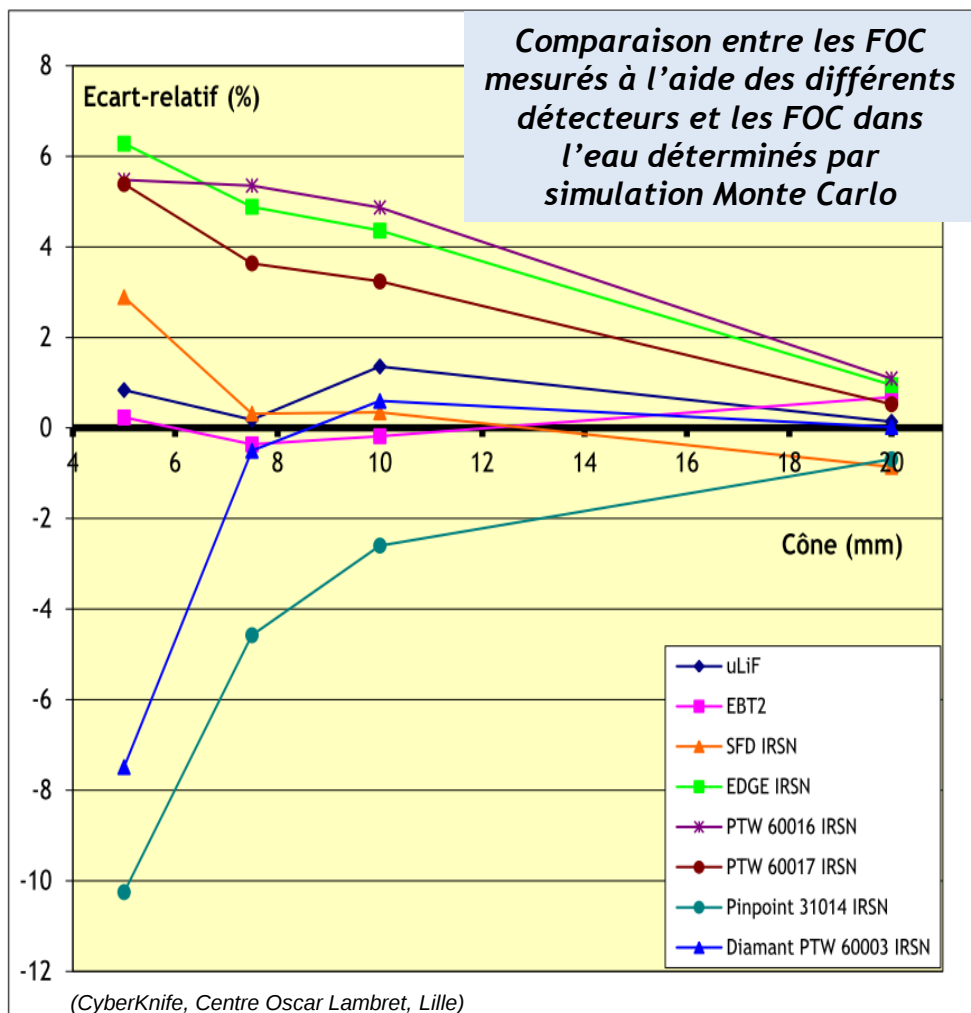
Objectifs:

- Détermination des données de base par calcul et comparaison à celles mesurées
- Détermination de facteurs correctifs pour les détecteurs
- Etude du comportement des détecteurs



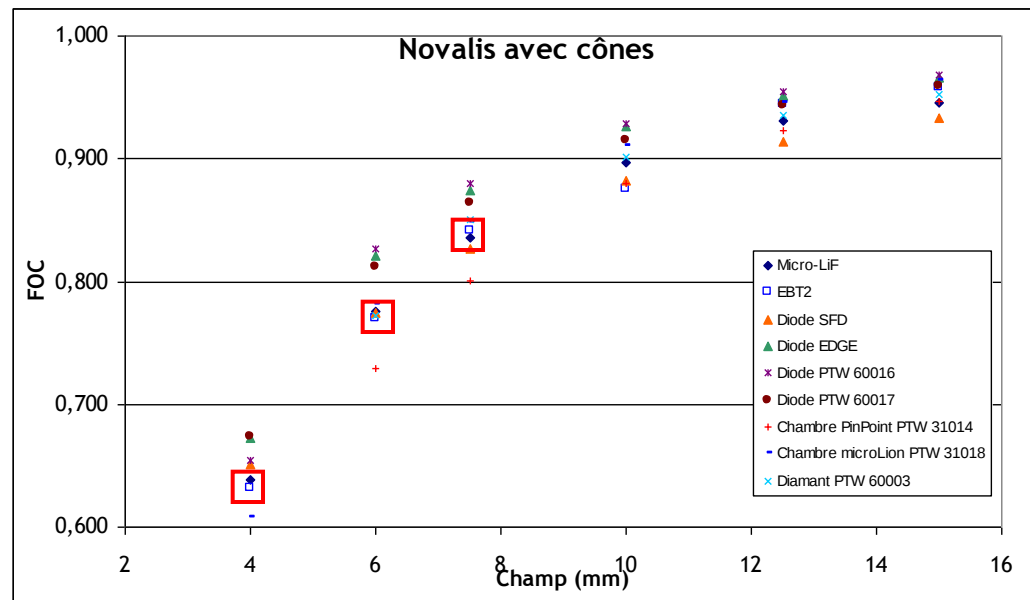
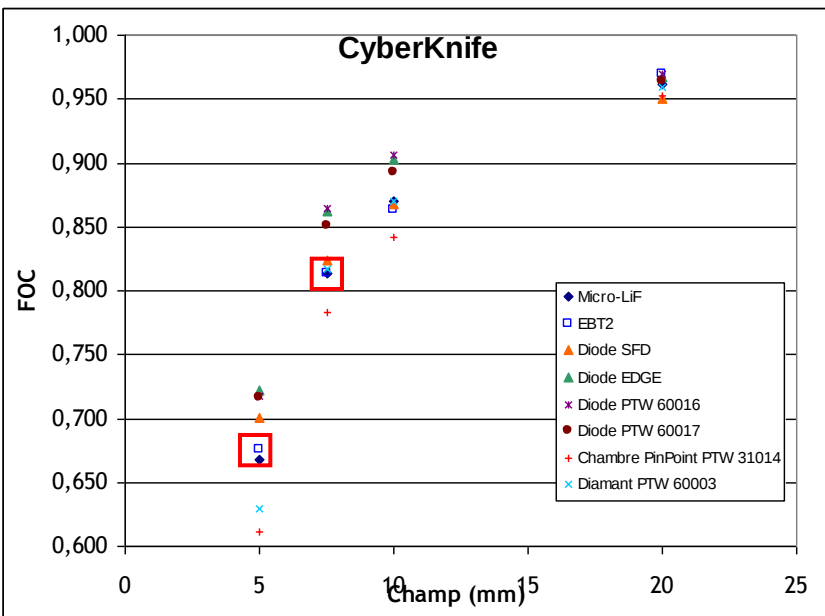
a) PTW 31014 ; b) PTW 60016 ;
c) PTW 60017 ; d) PTW 60003 ;
e) SN EDGE

Approche des FOC de référence (2)



- Diodes PTW et EDGE : sur-réponse
→ forte densité: augmentation de la fluence
- Chambre d'ionisation : sous-réponse
→ volume actif trop large, densité faible
- Diode SFD : sous-réponse puis sur-réponse lorsque la taille de champ diminue
→ variation de la réponse en énergie ?
- Diamant PTW 60003 : sous-réponse champ de 5 mm, bon accord pour les champs supérieurs
→ volume actif trop large
- Dosimètres EBT2 et micro-LiF : bon accord (écart inférieur à 1,4%)
→ bonne équivalence tissu (films) et bonne résolution spatiale

Mesures de FOC - Résultats (1)



- Bon accord entre les différents détecteurs pour des tailles de champ supérieures à 10 mm
- Accord entre les dosimètres passifs (micro-LiF et films EBT2) meilleur que 2 % pour l'ensemble des tailles de champ
- Surestimation du FOC par les diodes

Mesures de FOC - Résultats (2)

Ecart relatif par rapport aux mesures réalisées avec les dosimètres passifs

CyberKnife

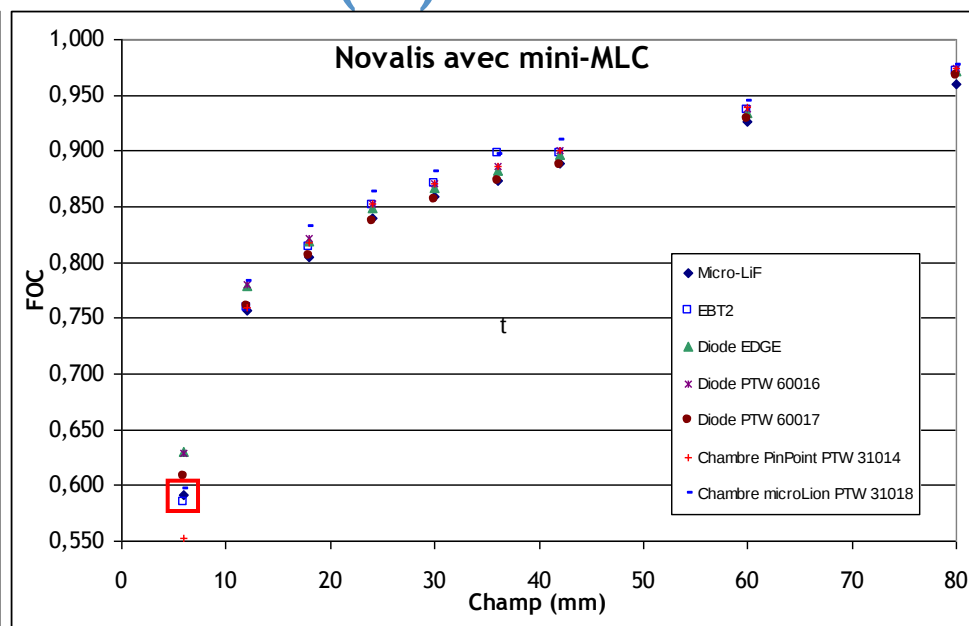
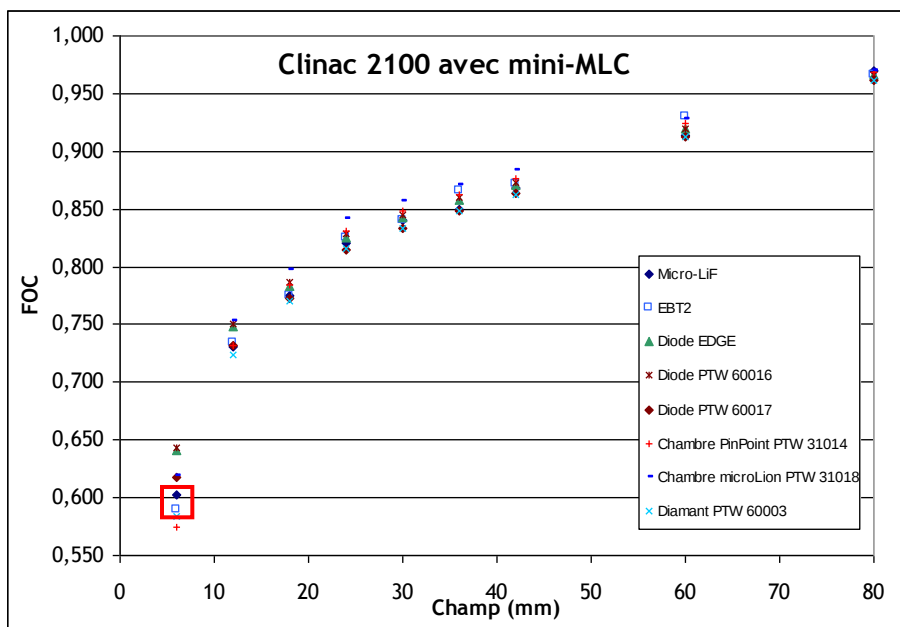
Champ (mm)	Diode EDGE	Diode PTW 60016	Diode PTW 60017	Chambre PTW 31014	Diamant PTW 60003
20	0,6%	0,7%	0,2%	-1,0%	-0,3%
10	3,6%	4,0%	2,4%	-3,3%	-0,2%
7,5	4,7%	5,2%	3,5%	-4,8%	-0,7%
5	5,1%	4,2%	4,1%	-11,3%	-8,6%

Novalis

avec cônes

Champ (mm)	Diode EDGE	Diode PTW 60016	Diode PTW 60017	Chambre PTW 31014	Diamant PTW 60003
15	1,4%	1,8%	0,7%	-0,5%	0,1%
12,5	1,5%	1,8%	0,5%	-1,6%	-0,3%
10	4,5%	4,9%	3,3%	-0,7%	1,7%
7,5	4,3%	5,0%	3,0%	-4,5%	1,5%
6	6,3%	6,9%	5,0%	-5,7%	-0,1%
4	5,8%	3,0%	6,0%	-16,8%	-16,2%

Mesures de FOC - Résultats (3)



- Bon accord entre les différents détecteurs pour des tailles de champ supérieures à 10 mm
- Accord entre les dosimètres passifs (micro-LiF et films EBT2) meilleur que 2 % pour l'ensemble des tailles de champ
- Surestimation du FOC par les diodes

Mesures de FOC - Résultats (4)

Ecart relatif par rapport aux mesures réalisées avec les dosimètres passifs

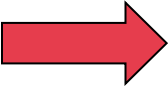
Mini-MLC (mm ²)	Diode EDGE	Diode PTW 60016	Diode PTW 60017	Chambre PTW 31018	Chambre PTW 31014
42x42	0,3% 0,1%	0,8% 0,4%	-0,6% -0,8%	1,9% 1,6%	0,9% 0,7%
36x36	-0,4% -0,1%	0,1% 0,2%	-1,4% -1,0%	1,2% 1,5%	0,1% 0,6%
30x30	0,2% 0,2%	0,7% 0,6%	-0,9% -0,8%	2,0% 2,0%	0,7% 1,0%
24x24	0,4% 0,3%	0,9% 0,7%	-0,9% -0,9%	2,1% 2,2%	0,8% 1,0%
18x18	1,2% 1,1%	1,6% 1,5%	-0,4% -0,4%	2,9% 2,8%	1,1% 1,1%
12x12	2,9% 2,2%	3,0% 2,5%	0,5% -0,1%	3,3% 2,8%	0,3% 0,0%
6x6	7,2% 7,5%	6,9% 7,9%	3,4% 3,7%	1,5% 3,9%	-6,1% -3,6%

Novalis équipé du mini-MLC

Clinac 2100 équipé du mini-MLC

Synthèse

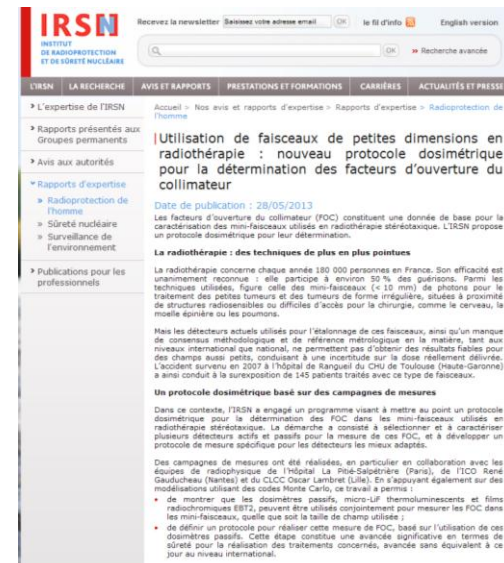
- Pour chaque installation et type de collimation, les dosimètres passifs (micro-LiF et films EBT2) présentent entre eux un bon accord (écart inférieur à 2 %).
- Les dosimètres passifs permettent d'approcher le FOC de référence à moins de 1,5%. Ils peuvent être utilisés sans facteur correctif.
- Pour certains détecteurs, le comportement est dépendant des conditions de mesure et non du type d'installation.



Proposition d'un protocole de mesure des FOC basé sur l'utilisation des micro-LiF



www.irsnn.fr/mini-faisceaux-FOC



The screenshot shows the IRSN website with a search bar and navigation menu. The main content area displays the 'Rapport de synthèse' document, which is titled 'Mise au point d'un protocole dosimétrique pour la détermination des FOC dans les mini-faisceaux utilisés en radiothérapie'. The document is dated 28/05/2013 and is available in PDF format. The website also features a sidebar with links to various reports and publications.

Conclusion

- Dosimétrie des mini-faisceaux problématique
- Nécessité de références métrologiques en dessous de 2 cm
- Un détecteur actif « idéal » pour les mesures de FOC dans les mini-faisceaux est un détecteur avec une bonne résolution spatiale et une densité proche de 1
- Mise au point d'un protocole de mesures des FOC basé sur l'utilisation de dosimètres passifs

Perspectives

- Projet européen (EMRP 2012-2015): références dosimétriques pour les mini-faisceaux - présentation S. Dufreneix
- Développement de détecteurs actifs adaptés aux mini-faisceaux: projet DIADOMI - présentation D. Tromson

Merci pour votre attention