



Mise en œuvre de la dosimétrie *in vivo* dans un département de radiothérapie : expérience de l'Institut Gustave Roussy.

**André BRIDIER - Frédéric JOUSSARD -
Guillaume FRANCOIS - Dimitri LEFKOPOULOS**

**Service de Physique Médicale – Institut Gustave Roussy
94805 Villejuif Cedex**

Journées dosimétrie SFRP – 27 et 28 Mai 2008 - Paris

La dosimétrie *in vivo* : *Généralités*

- Réaliser des **mesures** de doses pendant le traitement par radiothérapie pour vérifier **en temps réel** l'adéquation entre la dose délivrée et la dose prescrite.
- Divers objectifs :
 - détecter et corriger les erreurs systématiques entre la préparation et la 1^{ère} séance de traitement,
 - évaluer la qualité globale d'une technique particulière d'irradiation ou de la dose délivrée dans un service,
 - mesurer des doses en des points d'intérêt (OAR,...)
- Détecteurs placés en des **sites accessibles** (peau ou cavités naturelles du corps)
- Recommandations :
 - sociétés savantes nationales (SFRO, SFPM) et internationales (ESTRO, AAPM)
 - circulaire n°DHOS/E4/2007/230 du 11 Juin 2007
 - niveau national : à mettre en œuvre dans les départements de radiothérapie avant 2011



La dosimétrie *in vivo* à l'IGR

- appliquée aux irradiations corporelles totales depuis 1970
- **mise en œuvre pour les faisceaux de photons des traitements « classiques » sur 3 accélérateurs :**
 - Primus depuis juillet 2007,
 - Oncor 1 depuis octobre 2007,
 - Oncor 2 depuis Janvier 2008
- *Objectif : **détection d'erreurs systématiques** entre la préparation du traitement et la première séance (acquisition des données patient, dosimétrie des faisceaux, calcul de la distribution de dose, transfert des données, mise en place du patient et traitement)*
→ *(mesures systématiques à la première séance et à chaque changement d'un des paramètres)*

Mise en œuvre de la dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Plan de la présentation

- ***Introduction***
- ***Méthode et matériels***
 - méthode de mesures
 - système de mesures
 - réalisation des mesures *in vivo*
 - tolérances et niveaux d'action
 - programme d'assurance de qualité
- ***Résultats et discussion***
 - analyse statistique
 - avantages et limites de la méthode utilisée
- ***Conclusion***

Dosimétrie in vivo

Méthodes de mesure (détecteurs ponctuels)

- **Détecteurs ponctuels** : diodes, DTL, OSL, MOSFETs...
- **Idéal** : dosimètre au point de prescription mais difficilement réalisable pour tous les traitements (qq applications : par ex. MOSFETs en RCMI ORL)

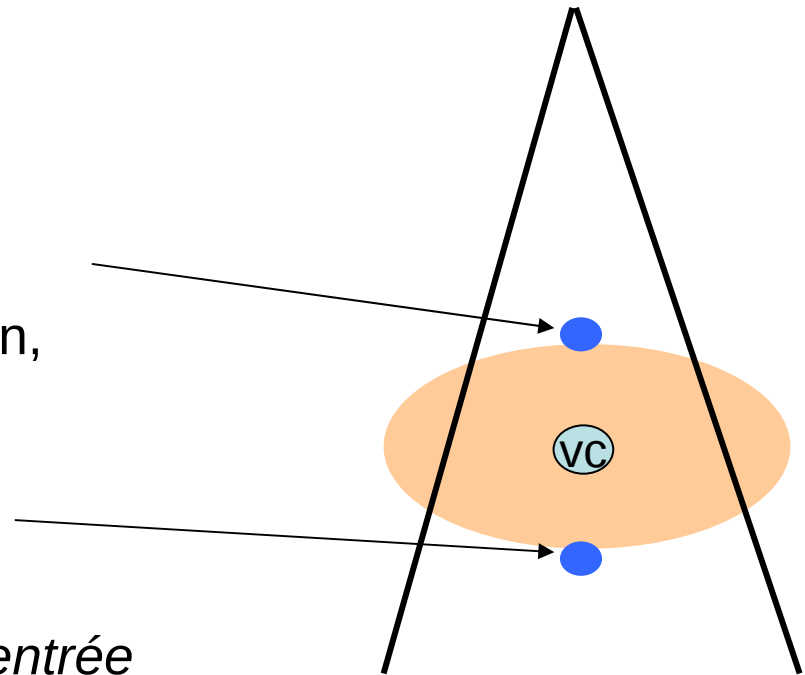
- **Méthodes usuelles** :

- ❶ **Détecteur à l'entrée sur la peau** :

contrôle : dose/séance (nb d'UM), coin, caches, DSP, dimensions champ...

- ❷ **Détecteur à la sortie** :

contrôle : épaisseur, hétérogénéités,
dose sortie combinée avec dose entrée
→ dose volume cible



Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Méthode de mesure adoptée

- **Mesures "à l'entrée"** : détecteur à la peau du patient coté entrée du faisceau
 - dose à $z_{\max}$
 - comparaison : $(D_{\max})_{\text{mes}} / (D_{\max})_{\text{TPS}}$ (Dosigray)
 - actions : selon les niveaux de tolérance
 - intégration des résultats dans le système *Record and Verify* : Lantis



Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Matériel

- Utilisation de diodes semi-conductrices (système InVidos - Wellhöfer/Scanditronix)

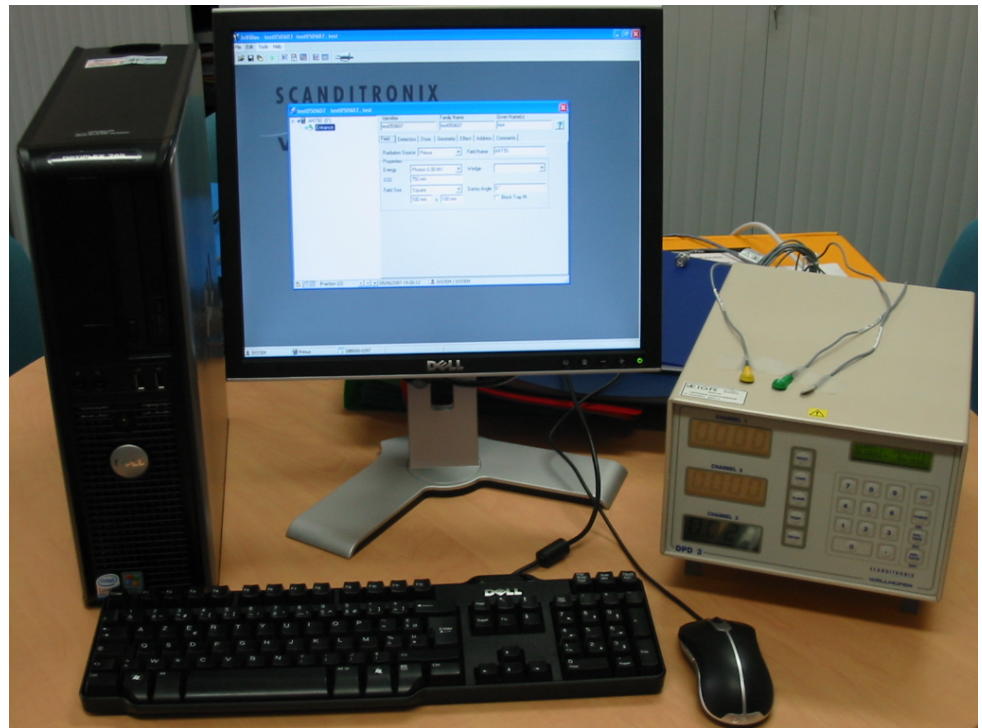
Diodes (photons) :

- EDP 10 : RX 6 MV
- EDP 20 : RX 18 ou 20 MV



Dosimètre : DPD3

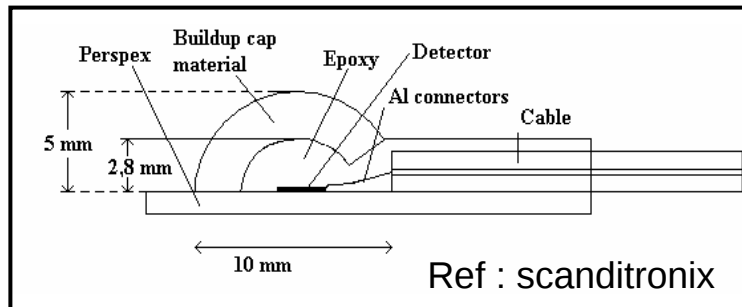
Logiciel : InVidos



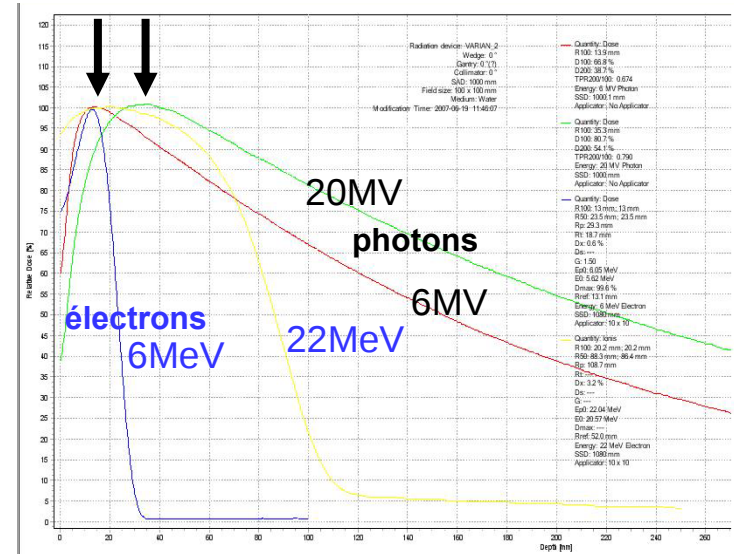
Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Diodes utilisés à l'IGR

Diodes : addition d'un capuchon d'équilibre électronique pour mesure à Z_{max}



- **EDP 10** : **RX 6 MV** (build-up : 10 mm eq.eau)
+ 0.6 mm Cu ($\rightarrow$ 15 mm eq.eau)
- **EDP 20** : **RX 18 ou 20 MV** (build-up : 20 mm eq.eau)
+ 1.2 mm Cu ($\rightarrow$ 30 mm eq.eau)



Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Test de la réponse des diodes

Préalablement à toute mesure sur patient :

- déterminer, analyser et vérifier les performances des diodes en fonction des paramètres susceptibles d'influencer leur réponse, dans des conditions les plus proches de leur utilisation
- définir leurs limites, les précautions à prendre

Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Conversion : mesure diode - dose "à l'entrée"
(diode placée à la peau du patient)

selon la méthode décrite dans ESTRO booklet n°5-2001

$$D_{ent} = R_{ent.diode} \times F_{cal} \times \prod CF_i$$

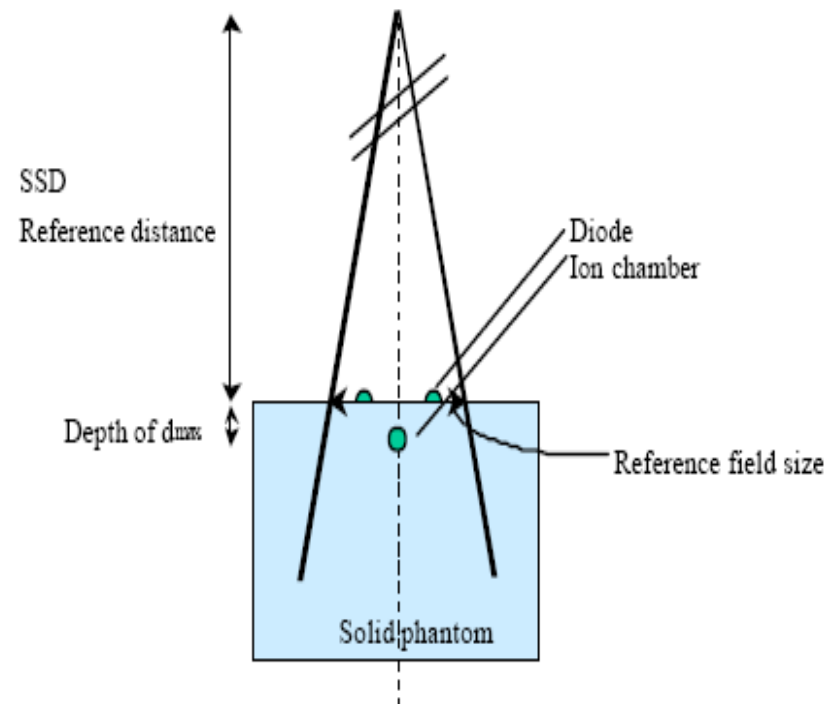
• **Coefficient d'étalonnage :**

$$F_{cal} = \left(\frac{D_{ic}}{R_{diode}} \right)_{ref. condition}$$

• **Facteurs de correction :**

$$CF_i = CF_{FS}, CF_{SSD}, CF_{wedge}, CF_{tray}, CF_{block}, CF_{angle}$$

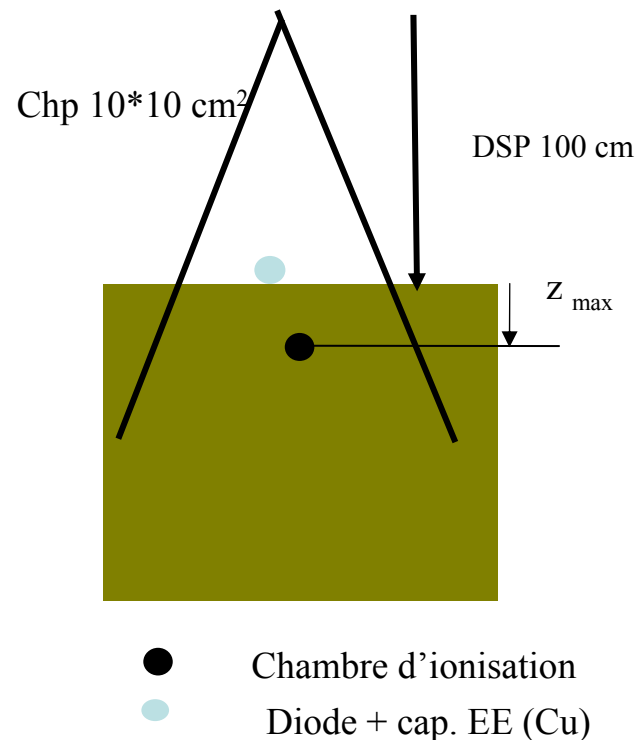
$$CF = \frac{(R_{ic} / R_{diode})_{clinical condition}}{(R_{ic} / R_{diode})_{ref. condition}}$$



Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Test de la réponse des diodes

- **Etalonnage des diodes** : relier le signal de chaque diode à la dose absorbée dans l'eau dans des conditions de référence (chambre d'ionisation de référence)



- diode placée à la surface d'un fantôme, en équilibre électronique (addition du capuchon de Cu) $\Rightarrow R_{\text{diode,ref}}$
- chambre d'ionisation de référence NE 2571 (étalonnage LNHB) à Z_{max} $\Rightarrow D_{\text{max,ref}}$

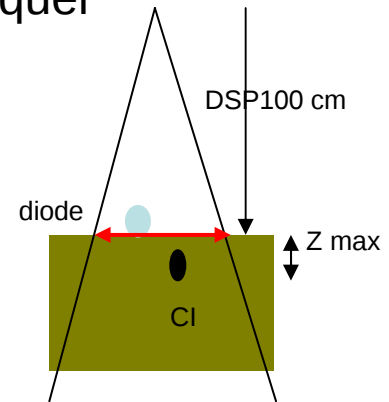
$$\Rightarrow F_{\text{cal}} = D_{\text{max,ref}} / R_{\text{diode,ref}}$$

- **Fréquence étalonnage : mensuel**
permet la prise en compte de la **perte de sensibilité** des diodes **avec la dose accumulée** (en moyenne : 2,9 % / kGy pour les diodes utilisées)

Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Test de la réponse des diodes

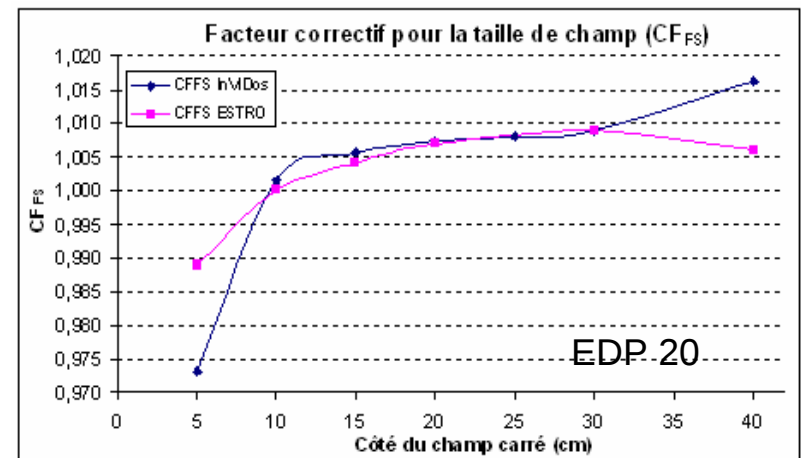
- **Etude de la réponse des diodes en fonction des paramètres d'influence** $\Rightarrow$ détermination des facteurs correctifs (CF) à appliquer à la réponse des diodes pour passer de la dose à $z_{\max}$ dans les conditions de référence (étalonnage) à la dose à $z_{\max}$ dans les conditions de traitement.



- **Les valeurs des CF sont intégrées dans le logiciel InVidos**

Paramètres d'influence :

- **Dimensions du champ**
- DSP
- Orientation des diodes dans le faisceau
- Filtres en coin
- Caches / Porte-caches

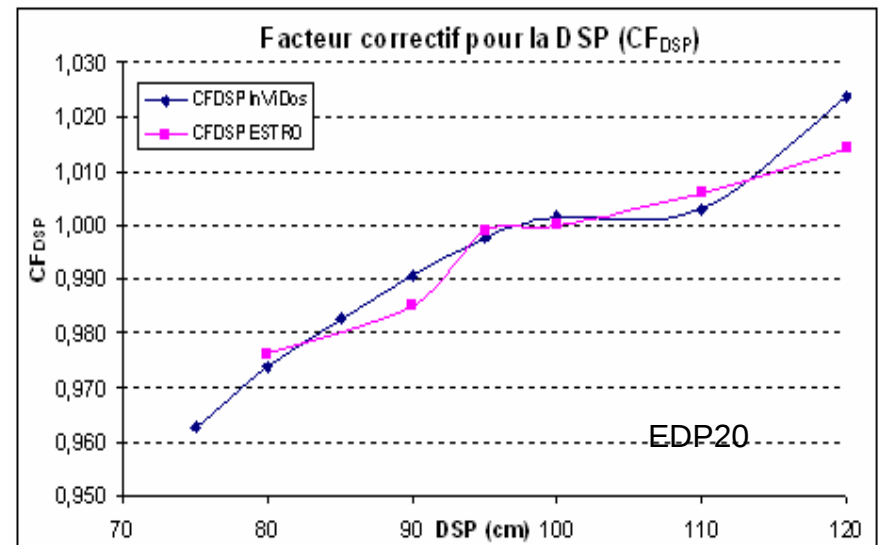
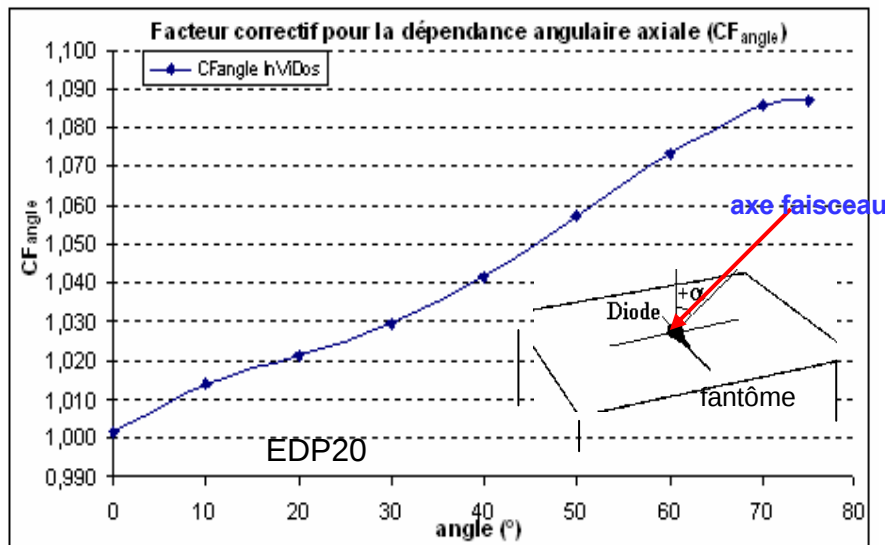
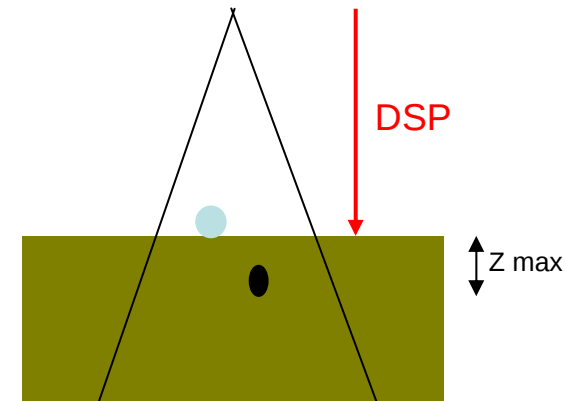


Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Test de la réponse des diodes

Paramètres d'influence :

- Dimensions du champ
- **DSP**
- **Orientation des diodes dans le faisceau**
- Filtres en coin
- Caches / Porte-caches



Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Autres paramètres d'influence sur la réponse de la diode à entrer dans le logiciel InVidos lors des mesures

• Température ambiante

- t°_{salle} : 22° à 25°C : conditions d'étalonnage, diode sur contention (masque), diode sur table de traitement

- $t^{\circ}_{\text{peau patient}}$: 32°C après 4 minutes (en pratique 28°C pris en compte supposant une durée de présence de la diode au contact de la peau du patient de 1 à 2 minutes (Grusell and Rikner-1993)

Correction : 0,3% / °C

• *gap d'air* : diodes non placées sur la peau du patient
masques non collés à la peau, diode sur table de traitement en fibre carbone (faisceaux post ou obliques post)

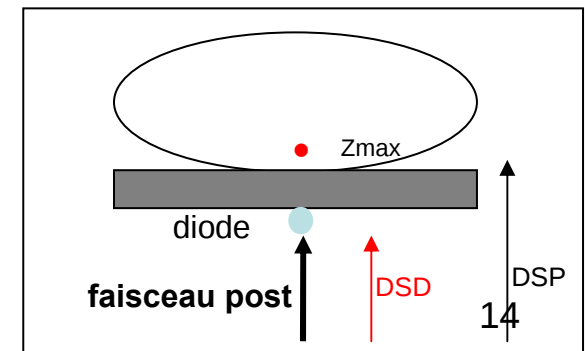
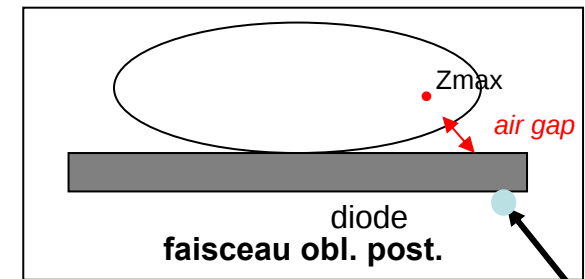
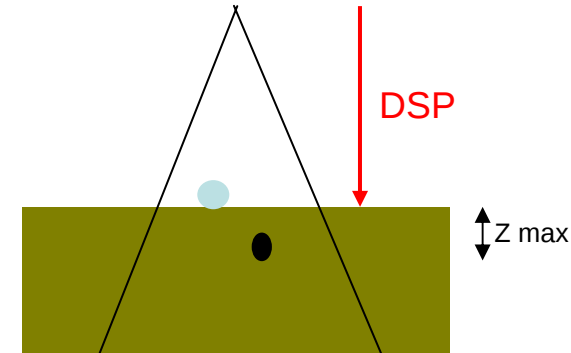
⇒ manque de rétrodiffusé

- Corrections : 0,5 à 2,5 % pour un gap d'air entre 1 et 8 cm air selon l'énergie et la taille du champ

• Distance source – diode

(parfois différente de distance source-peau utilisée pour le calcul de la dose “à l'entrée” :

gap d'air, table ⇒ influence de la distance)

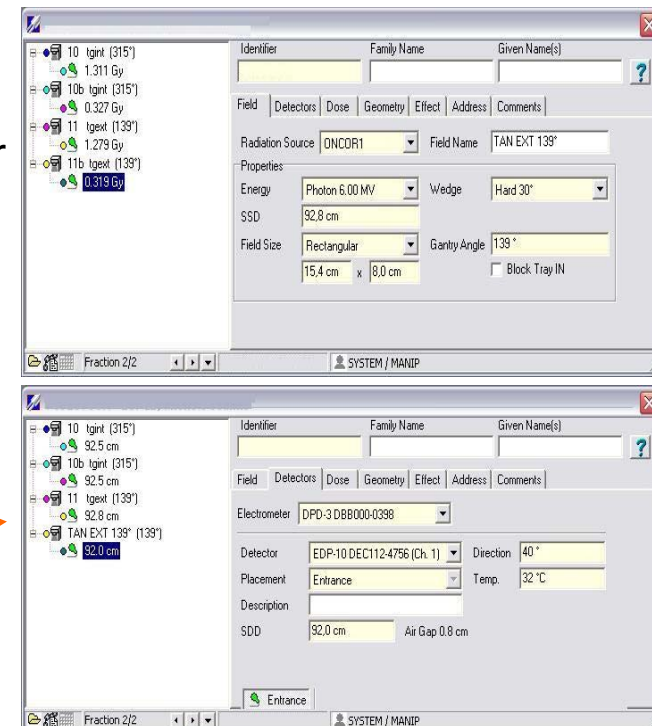


Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Réalisation des mesures *in vivo* (1)

Pour chaque patient, au cours de la 1^{ère} séance de traitement (après validation de la position du champ/patient : imagerie portale), **le manipulateur** :

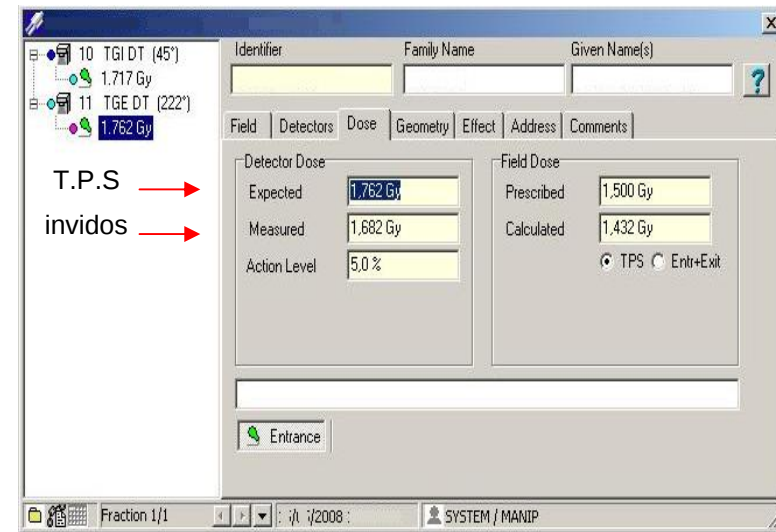
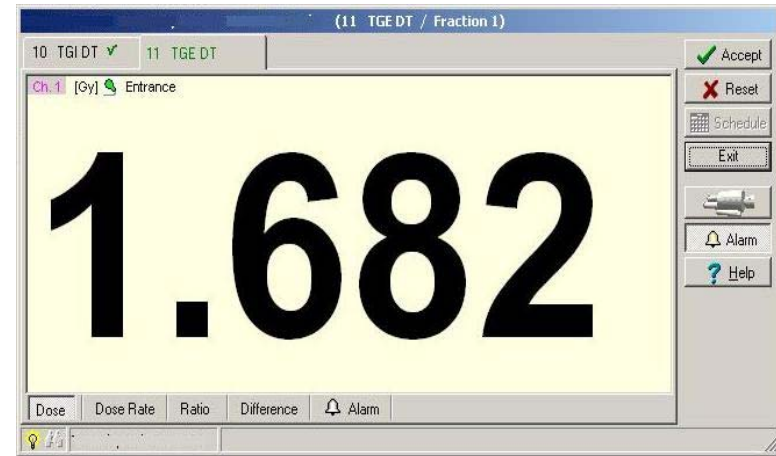
- **met en place la diode** appropriée (EDP 10 ou EDP 20 selon l'énergie 6 ou 18 MV) sur la peau du patient et vérifie son contact avec la peau, son orientation par rapport à l'axe du faisceau et la distance source-détecteur (DSD)
- **sélectionne le plan de mesures "patient"** créé à partir des données « patient » exportées du système R and V : Lantis sur le logiciel InVidos connecté au système de mesures.
- **vérifie les données affichées** et, si besoin est, complète par des informations liées à la technique de traitement (angle d'incidence du faisceau sur la diode, DSD, *gap d'air*, t° de la diode)
- **réalise la séance d'irradiation**



Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Réalisation des mesures *in vivo* (2)

- Lors de la séance d'irradiation, le logiciel InVidos affiche en temps réel la dose délivrée (D_m) et la compare à la dose calculée (D_c) par le système de planification de traitement Dosigray en faisant apparaître les écarts (comparaison faite sur la dose à la profondeur de la dose maximale)
- Les résultats obtenus sur les écarts sont traités conformément aux niveaux de tolérance et d'actions à entreprendre adoptés dans le département de radiothérapie.
- Le rapport des mesures de dosimétrie *in vivo* réalisées sous le logiciel InVidos est intégré au dossier patient



Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Tolérances - Niveaux d'action

D'après références : AAPM report 67-2005, A.NOEL-1995, ESTRO booklet 5-2001

- **$Dm/Dc \leq \pm 3 \%$: niveau optimal** (traitement validé)
- **$Dm/Dc > \pm 3 \%$ to $\leq \pm 5 \%$: dans le niveau de tolérance** (traitement validé)
- **$Dm/Dc > \pm 5 \%$ to $\leq \pm 10 \%$: en dehors du niveau de tolérance**
(rechercher la raison de l'écart observé : 2^{de} vérification de la position du patient et des paramètres de traitement, prévenir le service de physique, mesures *in vivo* à la séance suivante en présence du physicien)
- **$Dm/Dc > \pm 10 \%$: niveau d'urgence**
(recherche immédiate d'une éventuelle erreur lors de la réalisation du traitement, contrôle de tous les paramètres, appel du physicien, étude approfondie du dossier : dosimétrie, calcul d'UM, mesures complémentaires sur fantôme si nécessaire, action corrective avant reprise du traitement, mesures *in vivo* la séance suivante en présence du physicien).
Report des écarts au radiothérapeute référent du patient et traitement de ces écarts selon la procédure appropriée.

Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Programme d'assurance de qualité

Caractérisation du système de mesure et mise au point de la méthode incluant :

- l'étalonnage et la caractérisation dosimétrique du système de mesures (diodes)
- la configuration du logiciel *Invidos* et établissement des liens avec *Lantis*

Rédaction de procédures portant sur :

- la mise en oeuvre de la DIV dans le département de radiothérapie (objectif, responsabilités, matériel et méthode, tolérances et actions à entreprendre)
- l'utilisation et le contrôle de qualité associé au système de mesures (étalonnage, détermination des facteurs de correction sur la réponse, CQ périodique)
- la création d'un plan de mesures et la réalisation des mesures *in vivo* sous le logiciel InVidos, l'exploitation et l'édition des résultats et le transfert dans le dossier patient (Lantis).

Formation :

- Présentations sur la ***dosimétrie in vivo*** au personnel de Radiothérapie
- Formation des physiciens et des manipulateurs

Dosimétrie *in Vivo* à l'IGR : *Procédures*

 SERVICE DE PHYSIQUE	Procédure de mise en œuvre de la dosimétrie In Vivo Logiciel InVidDos : Création d'un plan de mesures In Vivo à partir d'un plan de traitement issu de Lantis	PENVIVO_INVIDOSPLAN01_01 Version : 03 Date : 15/11/2007 Page 2 sur 13
---	---	--

- 1 OBJET
- 2 PRE-RI
- 3 CONNE
 - 3.1 LA
 - 3.2 OC
- 4 CREAT
 - 4.1 PR
- PARAMETRI
- 4.2 CR
- 4.3 IM
- 4.4 VE
- 4.5 SA
- 4.6 VE
- 4.7 EN

 SERVICE DE PHYSIQUE	Procédure de mise en œuvre de la dosimétrie In Vivo Réalisation des mesures de dosimétrie In Vivo sous le logiciel InVidDos	PENVIVO_INVIDOSMESURE01_01 Version : 01 Date : 13/07/2007 Page 2 sur 10
---	---	--

- 1 OBJECTI
- 2 CONNEXI
 - 2.1 LANC
 - 2.2 CON
- 3 REALISA
 - 3.1 PRE -
 - PARAMETRES I
 - 3.2 COVE
 - 3.3 REAL
 - 3.4 DEPA

 SERVICE DE PHYSIQUE	Procédure de mise en œuvre de la dosimétrie In Vivo Logiciel InVidDos : Edition et intégration à Lantis du rapport de mesures de dosimétrie In Vivo	PENVIVO_INVIDOSRAPPORT02_01 Version : 02 Date : 19/11/2007 Page 2 sur 25
---	---	---

- 1 OBJECTI
- 2 CONNEX
 - 2.1 LAN
 - 2.2 CON
- 3 EDITION
 - 3.1 OUV
 - 3.2 IMP
 - 3.3 EDCI
- 4 INTEGR.
- 5 DEMANI
 - 5.1 CRE

 SERVICE DE PHYSIQUE	Procédure de mise en œuvre de la dosimétrie In Vivo Lantis : Validation du rapport de mesures de dosimétrie In Vivo	PENVIVO_LANTISVALIDRAPPORT0001_01 Version : 01 Date : 18/12/2007 Page 2 sur 14
--	---	---

Sommaire

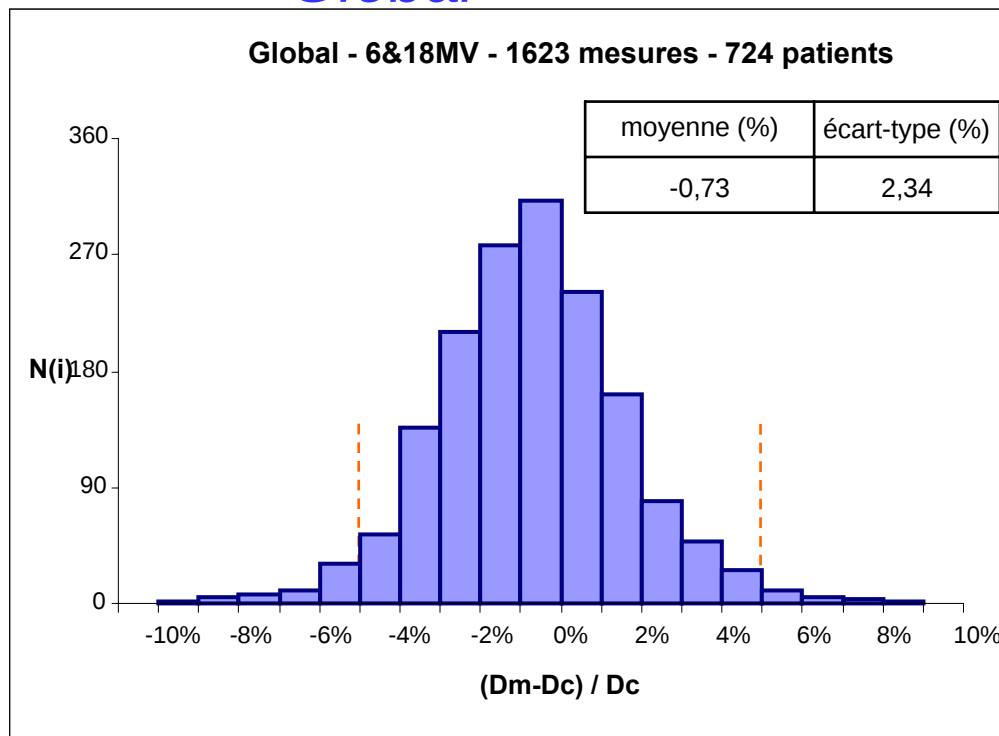
1	OBJECTIF DU DOCUMENT	3
2	VALIDATION DU RAPPORT DE MESURES DE DOSIMETRIE IN VIVO	3
2.1	CONNEXION A LANTIS ENTANT QUE PHYSICIEN DE GARDE	3
2.2	LISTE DES RAPPORTS DE DOSIMETRIE IN VIVO A VALIDER	4
2.3	CONSULTATION DU RAPPORT DE MESURES DE DOSIMETRIE IN VIVO	6
2.3.1	Sélection du dossier patient	6
2.3.2	Consultation du rapport de mesures de dosimétrie In Vivo	7
2.4	VALIDATION DU RAPPORT DE MESURES DE DOSIMETRIE IN VIVO	10
3	ANNEXE A	14

Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Résultats

- Traitements réalisés entre fin juillet 2007 et fin avril 2008
- Accélérateurs : Primus (6 et 18 MV), Oncor 1 (6MV) et Oncor 2 (6MV)

Global



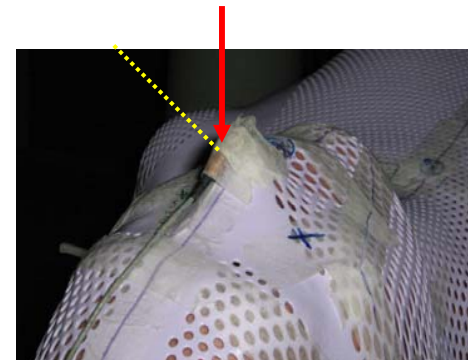
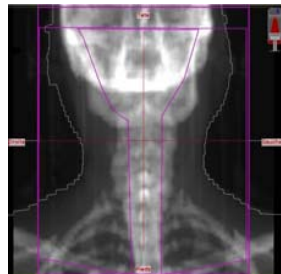
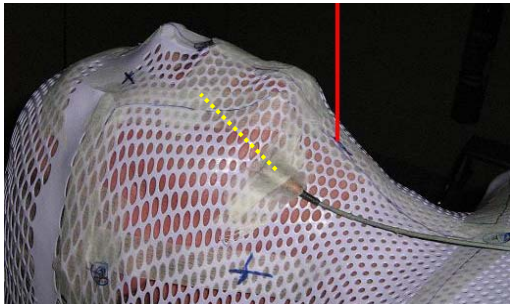
Par accélérateur

Accel.	n	pts	moy. (%)	1 σ (%)
Primus	761	308	- 0,77	2,21
Oncor1	461	248	- 0,95	2,45
Oncor2	401	168	- 0,41	2,37

Dosimétrie *in vivo* à l'IGR

Causes des écarts observés

- **Erreurs liées à la mesure :**
 - positionnement incorrect de la diode (présence de caches médians, de filtres en coin), diode décollée
 - paramètres rentrés dans "Invidos" erronés : DSD (diode sur contention ou table ,gap d'air),angle d'orientation de la diode/axe faisceau, température diode (peau,masque,..)
- **Erreurs dans la mise en place du patient (DSP)**
- **Difficultés de mesure** dans certaines techniques de traitement :
par ex. - **fortes obliquités** de surface : champs tangentiels (sein)
- **doubles obliquités** de surface : champs sus-claviculaire & ORL



SFRP_28mai2008

Dosimétrie *in vivo*

Avantages et limites de la méthode de la mesure de la dose « à l'entrée »

Avantages :

- méthode relativement facile à utiliser dans les conditions cliniques (un seul détecteur côté entrée du faisceau).
- durée supplémentaire (mise en place de la diode, entrée des données InVidos et recueil des résultats) : de l'ordre de 5 minutes lors de la séance de mesures
- adaptée à l'application à l'ensemble des patients pour la détection d'erreurs systématiques (calcul du nombre d'UM, distance de traitement, présence des caches et filtres en coin, dimensions de champ, éventuel défaut de fonctionnement de l'accélérateur).

Limites :

- ne permet pas de détecter les erreurs liées à l'épaisseur du patient, à la prise en compte des hétérogénéités des tissus traversés par le faisceau ou aux mouvements des organes.

Dosimétrie *in vivo*

Conclusion

La dosimétrie in vivo :

- permet une **vérification dosimétrique de toute la chaîne du traitement** de radiothérapie (de la préparation à la réalisation du traitement)
- prend place **dans le programme d'assurance de qualité des traitements** en radiothérapie comme méthode de contrôle complémentaire :
 - des contrôles des champs d'irradiation (films ou imagerie portale)
 - des contrôles pré-traitement (double test du calcul du nombre d'unités moniteur, vérification médecin-physicien du dossier patient, contrôles dosimétriques avant traitement pour techniques particulières(par ex. RCMI)).

Perspective : Association contrôle du champ d'irradiation / contrôle de la dose délivrée (dosimétrie de transmission – 2D) par imagerie haute énergie.