



# Curiethérapie

Dr Frédéric Miéville  
physicien médical SSRPM

HESAV – Bsc-S4  
25.03.2020

Frédéric Miéville, PhD | Service de radio-oncologie | 25.03.2020 | 1

## Objectifs

- Connaître les principes physiques de la curiethérapie
- A quoi faut-il faire attention ?
- Quels radionucléides utiliser et pourquoi ?
- Différences majeures entre curiethérapie et radiothérapie externe
- Connaître les avantages et limitations de cette technique
- Futur de cette technologie



Frédéric Miéville, PhD | Service de radio-oncologie | 25.03.2020 | 2

## Plan du cours

- Historique de cette technique
- Types de curiethérapie
- Physique de la curiethérapie
- Radionucléides utilisés
- Caractéristiques principales de la curiethérapie
- Contrôle qualité
- Quelques situations cliniques
- Avantages et limitations



## Rappel : historique de la radiothérapie

- **8 novembre 1895** : Découverte des rayons X par Wilhelm Conrad Röntgen
- **1898** : Découvertes du Polonium et du Radium par Pierre et Marie Curie
- **A partir de 1909** : Début des traitements au Radium en Angleterre
- 1911: Prix Nobel de Chimie pour Marie Curie (pour l'extraction du Radium)
- **1920** : Télécuriethérapie (qui éloigne la source radioactive dans le but d'augmenter l'efficacité du traitement en profondeur)
- **1934** : Découverte de la radioactivité artificielle par F. & I. Joliot-Curie (atomes radioactifs n'existant pas dans la nature)
- 1935 : Prix Nobel de chimie F. et I. JC
- Aujourd'hui : Ir-192 et I-125 sont les radio-isotopes des bases de la Curie-thérapie



Le radium découvert en décembre 1898



Le Polonium découvert en avril 1898



F. &amp; I. Joliot-Curie



## Définition :

- La **Curiethérapie**, parfois appelée **Brachythérapie** (du mot grec *Brachy* qui signifie « distance courte ») ou **Radiumthérapie**
- C'est une technique de radiothérapie mise au point à l'Institut Curie (Paris) durant laquelle le radio-isotope est placé **à l'intérieur** ou **à proximité** immédiate de la zone à traiter



## Type de Curiethérapie

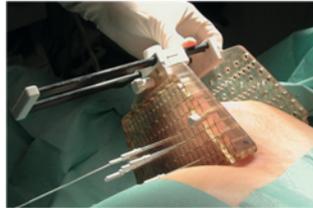
- Type de Curiethérapie définie selon **la position** de la source radioactive :
  - Interstitielle** : la source est placée à l'intérieur du tissu à irradier (tumeur)
    - Implants temporaires
    - Implants permanents
  - Contact ou plesiobrachythérapie** : la source est au contact (à côté) de la tumeur ou du lit tumoral
    - Endocavitaire
    - Endoluminale
    - Surface/contact
- Type de Curiethérapie définie selon le **débit de dose** (définition ICRU) :
 

I. <b>A faible débit (LDR)</b>	<b>0.4 – 2 Gy/h</b>
II. <b>A moyen débit (MDR)</b>	<b>2 – 12 Gy/h</b>
III. <b>A haut débit (HDR)</b>	<b>&gt; 12 Gy/h</b>

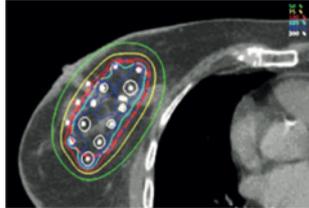


## Curiethérapie : interstitielle

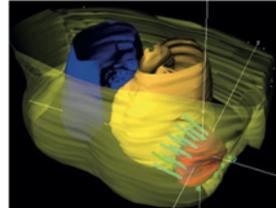
- La source est **placée à l'intérieur** du tissu à irradier (tumeur)
- Il y a les implants :
  - **Temporaire** – Exemple, *Boost* pour le cancer du sein (Iridium 192)



Cancer du sein (boost) : mise en place de cathéters dans le lit tumoral au bloc opératoire



Dosimétrie 3D sur une coupe axiale de scanner.  
En blanc, l'isodose 200% ; en bleu, l'isodose 125% ; en rouge, l'isodose 100% ; en jaune, l'isodose 75% ; en vert, l'isodose 50% ;  
En pointillés rouges, le volume à traiter

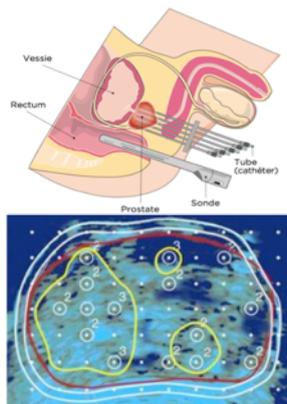


Compagnon, 2015



## Curiethérapie : interstitielle

- La source est **placée à l'intérieur** du tissu à irradier (tumeur)
- Il y a les implants :
  - **Permanente** – Exemple, le cancer de la prostate (grains de Iode 125)



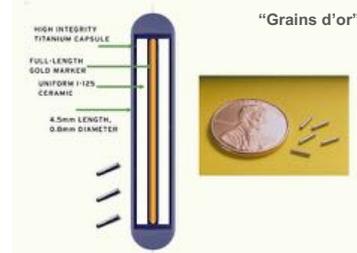
chumontreal.qc.ca



## Curiethérapie : débit de dose

### • Implants permanents

- Courte période
- Energie très basse (ex: 20 keV)
- Seul les rayons gamma sortent de la capsule
- Iode 125 ( $t_{1/2} = 60.5 \text{ j.}$ ), Palladium 103 ( $t_{1/2} = 17.7 \text{ j.}$ )



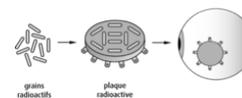
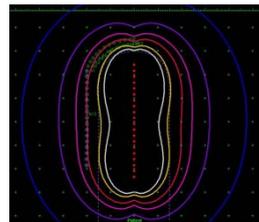
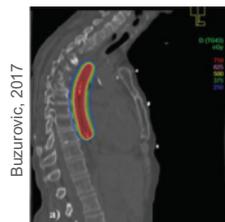
### • Implants temporaires

- Période plus longue
- Utilisation d'un projecteur de source à chargement différé
- Energie haute (ex : 380 keV)
- Iridium 192 ( $t_{1/2} = 70.4 \text{ j.}$ )



## Curiethérapie : contact

- La source est **au contact** de la tumeur ou du lit tumoral
- On parle de :
  - **Endocavitaire** – cavité naturelle. Exemple, cancer du col utérin, vagin, etc. (Iridium 192)
  - **Endoluminale** – «qui se trouve à l'intérieur d'un vaisseau». Exemple, cancers des bronches ou de l'œsophage
  - **Surface/Contact** – Exemple, rétinoblastome, cancers de la peau (Iode 125, Iridium 192, ruthénium 106, rarement Cobalt 60)

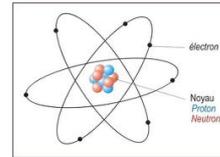


Curiethérapie par plaque d'un rétinoblastome (I-125)

Société canadienne



## Rappel sur la radioactivité



### • Terminologie

- Le terme **nucléide** est utilisé pour décrire le noyau atomique
- Un nucléide est composé de neutrons et de protons
- Une quantité de matières contenant un ensemble de nucléides instables, (radionucléides) est appelés **source radioactive**

### • Le nombre de noyaux subissant une désintégration

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

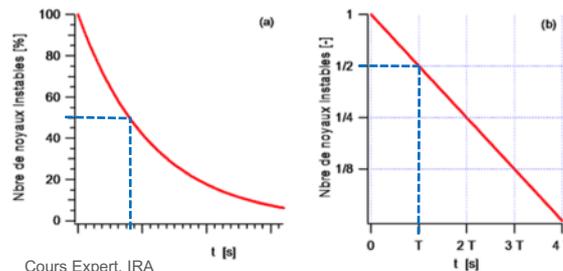
$N_0$  = nb de noyau à  $T_0$

$\lambda$  = constante de désintégration

### • Période radioactive

$$N(T) = 0.5 \cdot N_0$$

$$T = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$



Cours Expert, IRA



## Rappel sur la radioactivité

- Par définition l'**activité** d'une source radioactive est donnée par

$$A(t) := \lambda \cdot N_0 \quad A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

et correspond au **nombre d'atomes radioactifs qui se désintègrent** par unité de temps

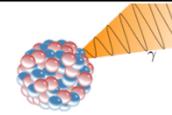
- Par définition l'**activité spécifique ou massique** d'une source radioactive est l'activité par unité de masse [Bq/kg]

### • Unités

- **Bequerel [Bq]** =  $1 \text{ s}^{-1}$  (nombre de désintégration par seconde, «nbre de coups»)
- **Curie [Ci]** = activité de 1g de Radium-226
- $1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
- Remarque : le Ci a été remplacé en 1964 par le Bq (unité SI)
- Etre humain : un individu de 70 kg a une activité de l'ordre de 8000 Bq dont 4500 dus au potassium 40



## Emetteurs gamma utilisés

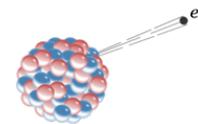


	Période	Activité spécifique	Energie moyenne	utilisation
$^{226}\text{Ra}$	1600 ans	$3.65 \cdot 10^{10}$	830 keV	Plus utilisé
$^{137}\text{Cs}$	30.2 ans	$3.20 \cdot 10^{12}$	662 keV	Temporaire
$^{192}\text{Ir}$	74.0 jours	$3.39 \cdot 10^{14}$	380 keV	Temporaire
$^{125}\text{I}$	59.4 jours	$6.50 \cdot 10^{14}$	28 keV	Impl. prostate ou ophtalmo
$^{103}\text{Pd}$	17.0 jours	$2.77 \cdot 10^{15}$	21 keV	Implants prostate
$^{198}\text{Au}$	64.7 heures	$9.03 \cdot 10^{15}$	416 keV	Implants prostate

O. Pisaturo



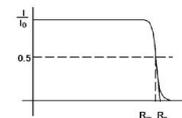
## Emetteurs béta utilisés



	Période	Activité spécifique	Energie β max	utilisation
$^{90}\text{Y}$	64 heures	$2.01 \cdot 10^{16}$	2270 keV	
$^{90}\text{Sr} / ^{90}\text{Y}$	28.2 ans	$5.09 \cdot 10^{12}$	540, 2270 keV	endovasculaire
$^{106}\text{Ru} / ^{106}\text{Rh}$	372 jours	$1.24 \cdot 10^{14}$	3550 keV	Ophtalmo

O. Pisaturo

Rappel : parcours des électrons dans l'eau  $R_e \cong \frac{E[\text{MeV}]}{2}$

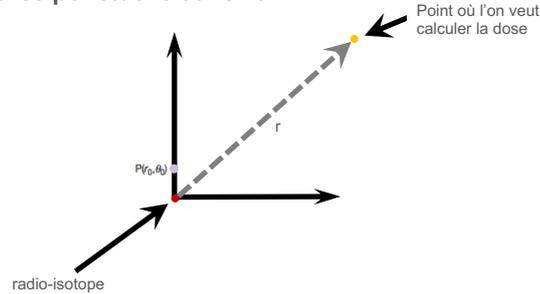


Cours Expert, IRA



## Formalisme pour le calcul de la dose

- Cas d'une **source ponctuelle dans l'air**



$$\dot{D}(r, \theta) = \dot{D}(r_0, \theta_0) \cdot \frac{1}{r^2}$$

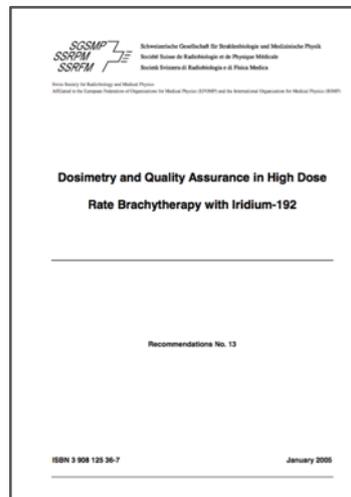
Point de référence

«Tout» l'intérêt de la Curiethérapie est là !

- Dose au point  $P(r, \theta)$  varie en  $1/r^2$  en fonction de la distance à la source
- On retrouve un **résultat fondamental !**

## Contrôle qualité

- Recommandation 13 de la société suisse de physique médicale (SSRPM)
- Basé sur l'IAEA et l'AAPM
- La quantité dosimétrique de référence est l'**Air KERMA Strength**



## Contrôle qualité

- Chaîne de mesure basée sur un chambre à puit (standard local) certifié par le METAS
- Vérification **tous les 4 ans** (comme pour la radiothérapie externe)
- Contrôle de stabilité trimestriel avec une source de référence Cs-137 (**tolérance 0.5%**)



- Il y a des contrôles journaliers, hebdomadaires, mensuels et annuels
- Contrôle lorsque l'on reçoit le système de Curiethérapie (*commissioning*)



## Exemple de contrôle qualité :

Vérification de la dose calculée par le système

Vérification de la **position**

Vérification des **sécurités**

Mesure de la **dose** par une double mesure

Vérification du **chronomètre** du système par une mesure



### Micro Selectron HDR Contrôle hebdomadaire Mesure du débit de la source

5 août 2019

Débit de kerma	TCS	37.966	mGy m2 h-1
Comparer kerma		OK	
Position 1500		OK	
Urgence		OK	
Radiation monitor		OK	
Arrêt par porte		OK	
Dosi. Alarme		OK	
Pression(hPa)		935.5	Température (°C) 22.7
Débit de kerma	mesuré	38.06	mGy m2 h-1
		38.05	mGy m2 h-1
			38.06 0.2%
Débit minuterie	mesure	38.65	mGy m2 h-1
			1.6%

Date et signature physicien



## Procédure d'urgence

### • Pourquoi ?

- Contrairement à un accélérateur linéaire, où il suffit de couper l'électricité, il n'y a pas moyen d'arrêter la désintégration de la source !
- Phénomène physique « inarrêtable »
- Il faut donc s'en protéger → **radioprotection**

### • Que faire ?

- Être prêt au pire !
- Avoir une **procédure d'urgence** et du personnel formé
- Rappel : « temps – écran – distance »

## Procédure d'urgence à l'HFR

### 1.3 Procédure d'urgence

La séance est terminée mais la source de curiethérapie n'est pas rentrée dans le projecteur de source *Nucletron*.

1. Activer l'arrêt d'urgence
2. Vérifier sur la console de traitement que la source est rentrée (voyant lumineux *source in safe* en vert)
3. Vérifier que le détecteur de radiation mural indique un débit de dose nul et que le trèfle radioactif de la porte soit éteint
4. Si le détecteur de radiation mural signal qu'il y a toujours du rayonnement dans la pièce :
  - a. Le **médecin** rentre dans la salle et va jusqu'à la patiente en se protégeant derrière le bouclier. Il coupe les sangles retenant l'applicateur en se tenant aussi loin que possible de ce dernier et met l'applicateur dans le conteneur en le tenant par sa partie métallique. Ensuite, il recule avec le bouclier jusqu'à l'entrée de la chicane (Figure 6)
  - b. Le **physicien et le technicien** libèrent les freins arrière de la chaise et sortent la chaise de la salle en marche arrière jusque dans le couloir du bunker. La patiente reste sur la chaise
5. Si l'*Automess* indique une dose élevée près de la chaise et de la patiente :
  - a. La patiente descend de la chaise et une mesure de la chaise seule est effectuée.
6. Si le dosimètre alarme continue de sonner près de la patiente (source restée dans la patiente) :
  - a. Le médecin prend les dispositions nécessaires pour extraire la source de la patiente
  - b. La source une fois extraite est placée dans un pot blindé
7. Envisager la condamnation de la salle en attendant l'intervention d'une entreprise externe (Elekta)



Bouclier de protection

## Cas clinique : cancer de la prostate

### • Pathologie

- 95% sont des adénocarcinomes
- Différentiation déterminée par le système de classement de **Gleason** (1 bien différencié – 5 peu différencié)
- Tumeurs souvent hétérogènes. Les scores de *Gleason* combine le résultat de deux zones (2 – 10). Bonne corrélation avec le résultat
  - 2 – 5 : bonne survie et faible probabilité de métastases
  - 6 – 10 : haute probabilité de développer des métastases

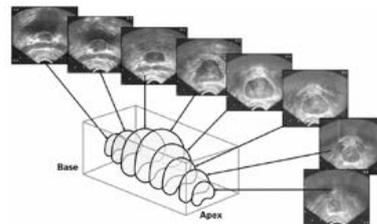
### • Indications pour la BT

- Espérance de vie > 5 ans
- Pathologie localisée dans la capsule (T1 ou T2), pas de méta-osseuse, ni de ganglion envahi.
- Volume prostatique petit (< 50 cc)
- Hormonothérapie adjuvante pour réduire le volume pour l'implantation des grains
- Si PSA > 10 ng/ml et Geason > 6, RT externe 45 – 50 Gy, puis brachy 110 Gy



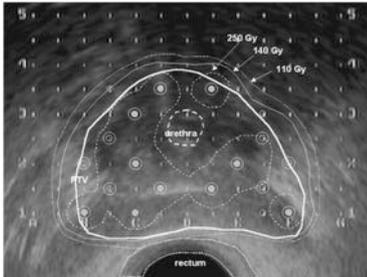
## Cas clinique : cancer de la prostate

- Le volume à implanter inclut la capsule prostatique plus 2 – 3 mm
- En général défini par ultrason transrectale. Une coupe est acquise tous les 5 mm de la base à l'apex.
- Les images sont ensuite entrées dans le TPS pour :
  - Déterminer le nombre de grains
  - Déterminer la position des grains (X-Y)
- La coordonnée Z est vérifiée par US
- Vérification des implants avec US ou Fluoroscopie

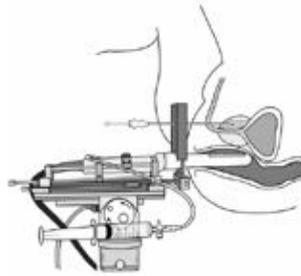


## Cas clinique : cancer de la prostate

- **Dose :**
  - $^{125}\text{I}$  : 145 Gy à la périphérie du volume
  - $^{103}\text{Pd}$  : 125 Gy à la périphérie du volume
- **Critères :**
  - Au centre, la dose ne doit pas dépasser 150%



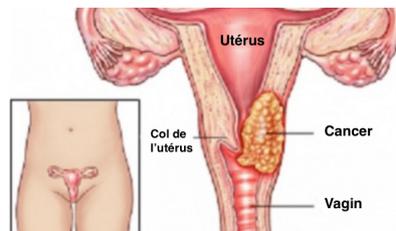
Implants permanents d'  $^{125}\text{I}$ , dose prescrite 140 Gy



Mise en place des grains de  $^{125}\text{I}$  et vérification

## Cas clinique : cancer du col de l'utérus

- **Généralité**
  - Faible incidence dans les pays développés mais haute dans les pays en voie de développement
  - HPV joue un rôle important
  - Age moyen = 50 ans
- **Anatomie**
  - Relié antérieurement à la base de la vessie
  - Relié postérieurement au rectum



## Cas clinique : cancer du col de l'utérus

### • Pathologie

- 90-95% sont des carcinomes spinocellulaires
- 5% sont des adénocarcinomes
- Sarcomes, lymphomes, carcinomes à petites cellules et mélanomes sont très rares

### • Indications pour la BT

- Lésion petite < 4 cm
- Lésion accessible par brachythérapie
- La brachythérapie est souvent combinée avec une radiothérapie externe
- La procédure est généralement appliquée en procédure interstitielle



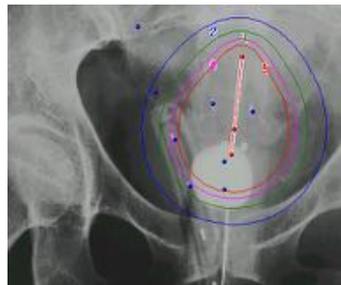
## Cas clinique : cancer du col de l'utérus

### • Au CHUV

- Brachythérapie endocavitaire avec applicateur vaginal
- Pas d'image → volume délimité cliniquement
- TPS calcule les temps de passage de la source d'après la prescription
- Cliché de scopie avant l'irradiation afin de confirmer la position de l'applicateur

### • Prescription

- Si seulement brachythérapie : environ 60 Gy
- Si boost après radiothérapie externe : environ 15 Gy



## Cas clinique : curiethérapie post chirurgie

### • A l'HFR

- Curiothérapie post opératoire pour cancer de l'endomètre
- Curiothérapie endovaginale avec applicateur vaginal
- Pas d'image -> volume délimité cliniquement
- Librairie de plans précalculé (TPS calcule les temps de passage de la source d'après la prescription)
- Cliché de scopie avant l'irradiation afin de confirmer la position de l'applicateur

### • Prescription

- Curiothérapie : 2 x 6 Gy ou 4 x 6 Gy

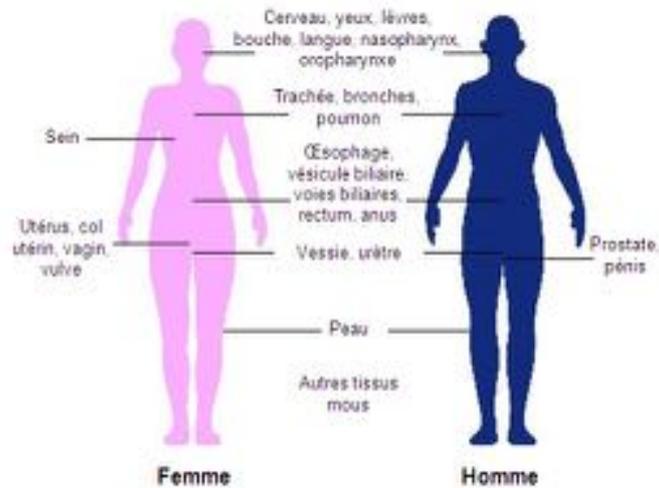


## Autres localisations

- **Cancer vaginal** : Cette curiothérapie est utilisée seule ou en complément d'une radiothérapie externe loco-régionale
- **Cancer du canal anal** : Cette curiothérapie est utilisée en complément d'une radiothérapie externe loco-régionale pour des cancers localisés
- **Cancer ORL** : Les localisations pouvant bénéficier d'une curiothérapie sont les zones officielles (paupières, lèvre, nez, langue)
- **Cancer de la peau** : La curiothérapie est souvent réalisée après l'échec de traitements locaux
- **Chéloïde** : La curiothérapie est réalisée en complément d'une exérèse de la chéloïde pour contrôler la cicatrisation
- **Sein** : La curiothérapie HDR sur une semaine est en cours d'évaluation outre atlantique comme alternative à la radiothérapie externe conventionnelle délivrée en six semaines pour des formes localisées de bon pronostic chez les femmes ménopausées
- **Etc.**



## Autres localisations



Wikipédia



Frédéric Miéville, PhD | Service de radio-oncologie | 25.03.2020 | 29

## Avantages et inconvénients:

### • Avantages

- Meilleure conformation de la dose, c'est-à-dire, dose élevée à la tumeur et **rapide diminution** du débit de dose en fonction de la **distance** ( $1/r^2$ )
- **Moins de séances** que la radiothérapie externe
- Technologie **plus simple** que celle d'un Linac
- Très bons **résultats cosmétiques**

### • Désavantages

- La tumeur doit être **petite** et **localisée**
- Il faut pouvoir avoir **accès** à la tumeur
- Inconvénients inhérents à l'utilisation des sources radioactives → **radioprotection**
- Peut nécessiter une anesthésie/chirurgie (Curiethérapie du sein, de la prostate, etc.) → **invasif**



Frédéric Miéville, PhD | Service de radio-oncologie | 25.03.2020 | 30

## Résumé

- La curiethérapie est un traitement **local**
- Traitement souvent utilisé en complément à une chirurgie d'exérèse ou à une radiothérapie externe
- **Radioprotection** inhérente au source de radiothérapie
- Il faut une équipe formée en cas de **situations d'urgence**
- La mise en place et le retrait de la source sont des actes médicaux
- Pour une source ponctuelle, la dose en fonction de la distance décroît en  $1/r^2$
- **Excellente configuration à la tumeur.** «Pas» d'irradiation des tissus loin de la tumeur contrairement à la radiothérapie externe
- Dans un grand centre de radio-oncologie, environ 5%-15% des patients bénéficiés d'un traitement de curiethérapie
- Technique qui a, aujourd'hui encore, son intérêt

## Référence & bibliographie

- *Radiation Oncology Physics «A Handbook for Teachers and Students», Podgorsak, 2005*
- *The GEC ESTRO Handbook for Brachytherapy, Gerbaulet*
- *Dosimetry and Quality Assurance in High Dose Rate Brachytherapy with Iridium-192, SSRPM, 2005*
- *Code of practice for brachytherapy physics: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 56, Medical Physics 24, 1997*
- *Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43, Medical Physics 22, 1995*