

# **Bases physiques de la radiothérapie**

***Pr. Malika ÇAOUI***

***Service de Médecine Nucléaire CHU International Cheikh Zaid  
Faculté de Médecine et de Pharmacie - Rabat-***

# **Objectifs du cours sur les bases physiques de la radiothérapie**

- **Définir le principe de radiothérapie**
- **Savoir identifier les différentes sources de RI utilisées en radiothérapie et leurs énergies respectives**
- **Savoir indiquer sur quels critères physiques portent le choix du RI pour traiter une cible donnée**
- **Savoir différencier les différentes techniques de radiothérapie selon les domaines de leur utilisation.**

# Radiothérapie

- **Radiothérapie: Utilisation des RI dans un but thérapeutique.**
- **C'est l'une des techniques majeures avec la chirurgie et la chimiothérapie dans le traitement du cancer. Elle est née avec les RI.**

**On distingue trois techniques:**

- **la radiothérapie externe où la source est à l'extérieur du patient**
- **la radiothérapie interne où la source est:**
  - **au contact de la cible : la curiethérapie**
  - **interne à la cible : radiothérapie interne ou vectorisée.**

# Les RI utilisés en radiothérapie

- Les RI sont de différentes :
  - Natures: Photons X et  $\gamma$ , électrons, neutrons, protons, particules  $\alpha$
  - Energies: de 10 KeV à 200 MeV.
- Les appareils de radiothérapie sont:
  - les tubes à RX et des sources de  $R\gamma$ : cobaltothérapie, curithérapie, radiochirurgie (gammaknife)..
  - les accélérateurs linéaires : RX et électrons de grande énergie
  - les cyclotrons : protons, neutrons, ions légers, particules  $\alpha$

# Buts de la radiothérapie

- Fondée sur l'administration de doses élevées de RI pour détruire les cellules malignes des cancers. Le traitement peut-être:
  - Curatif donc guérit
  - Palliatif: freine l'évolution et améliore la qualité de vie du patient
  - Symptomatique: soulage un symptôme, exemple la douleur.
- La stérilisation d'une tumeur est lié à son volume tumoral et à sa nature histologique.
- Les RI sont utilisés pour leurs **effets bénéfiques**.
- **Mais la nocivité de ces RI** existe et n'est pas négligeable.

# **L'importance de la dosimétrie en radiothérapie**

- **La dosimétrie sert à définir et mesurer les grandeurs liées à l'énergie perdue par les RI dans un tissu soumis à la radiothérapie.**
- **La dosimétrie contrôle ainsi l'exposition par :**
  - **des mesures des doses : « dosage »**
  - **la détermination du volume de la cible à traiter « centrage »**
- **But de la radiothérapie : être le plus efficace sur le tissu cible et le moins agressif possible sur les tissus sains pour moins de séquelles.**
- **D'où le rôle de la dosimétrie qui intervient pour tenir compte des caractéristiques du RI et du tissu à traiter.**

# Caractéristiques du RI

## Caractéristiques des faisceaux de photons X ou $\gamma$ :

- La puissance ou flux énergétique et l'énergie transportée par le faisceau durant un temps t
- Fluence énergétique: énergie transportée / unité de surface

## Kerma: (Kinetic Energie Released per Mass Unit):

- C'est l'énergie perdue par les photons / unité de masse dm
- n'est pas directement mesurable, ne dépend pas de l'entourage,
- si on connaît Fluence en ce point, on peut le calculer.

**Dose absorbée** :  $D = dE / dm$  :  $J. kg^{-1} = Gray : Gy$  (1Gy=100rads)

- Importance fondamentale en radiobiologie et en radioprotection

# Caractéristiques radiobiologiques

## Les effets attendus des RI au niveau cellulaire selon la dose.

- Doses élevées: mort cellulaire immédiate
- Doses modérées: mort différée en mitose ou génération ultérieure
- Dose faible : modification : perméabilité, synthèse, croissance...

## Facteurs jouant sur la sensibilité cellulaire: (Voir cours de radiobiologie)

- Sensibilisateurs ( $O_2$ ) ↑ cibles.
- Equipement enzymatique important ↑
- Phase du cycle cellulaire (mitose ↑).
- **Nature** des cellules

## Facteurs liés au RI:

- nature du RI ,
- fractionnement,
- TEL,
- EBR...

# La radiothérapie externe

- **Tubes à RX**  : Appareils de radiothérapie superficielle produisant RX de faible énergie: 300 keV max pour des cancers cutanés. (max de dose à la surface, faible rendement en profondeur).
- **Sources de Cobalt 60** : Appareils de cobalt émet des  $R\gamma$  1,25 MeV : (max de dose à 4 mm sous la peau, rendement en profondeur assez élevé).  
Traitement des tumeurs de la tête et du cou, du sein et membres.
- **Accélérateurs de particules: appareils puissants**  produisant :
- **RX : 4- 25 MeV**  : Appareils adaptés au traitement des tumeurs profondes: thorax, l'abdomen et pelvis (dès 10 MeV)
- **Électrons: 6 - 30 MeV**  : absorption très rapide d'où irradiation de cibles assez superficielles situées devant un organe-critique (ex:moelle épinière)

# Réaliser une séance de radiothérapie

La radiothérapie moderne fait appel à une technique importante

- **TDM**, pour repérer le volume tumoral et les organes critiques,
- **Conformateur** fournit le tracé des contours cutanés dans  $\neq$  plans
- **Simulateur**, appareil de radiodiagnostic qui permet le centrage des faisceaux et de voir ce qui sera irradié par chaque faisceau
- un **systeme informatique**, pour faire la dosimétrie: visualiser la distribution spatiale de la dose et calculer les temps de traitement

# La curiethérapie

- Elle utilise des sources: Iridium 192 (Tp 74 jours), Césium 137 (Tp 30 ans)
- Les sources\*, placées à l'intérieur de l'organisme, produisent des irradiations très localisées. Elles sont implantées :
  - dans la tumeur: curiethérapie interstitielle (ex : cancer de langue)
  - au contact de la tumeur développée dans une cavité naturelle : curiethérapie endocavitaire (ex: cavité utérine) ou conduit naturel
- Elle s'adresse à des cancers de petit volume, bien limités et techniquement accessibles : utérus, cavité buccale, oropharynx, peau, sein, vessie, etc...
- La curiethérapie peut être exclusive ou compléter une irradiation externe à dose modérée.

# Réaliser une séance de curiethérapie

Technique d'application nécessite un environnement particulier:

- Bloc opératoire avec anesthésie locale ou générale
- Mise en place du matériel vecteur
- Hospitalisation en chambre radioprotégée
- Chargement différé des sources radioactives.

Selon la technique de curiethérapie utilisée:

- irradiation continue à bas débit (0,4-2 Gy/h) avec hospitalisation en chambre à parois radioprotégées
- irradiation fractionnée, à haut débit de doses (> 12 Gy/h = HDR = High Dose Rate) sans hospitalisation, mais projecteur de sources\*

# La radiothérapie interne vectorisée

- **Principe:** détruire les cibles cellulaires tumorales qui concentrent un radiopharmaceutique administré (voie orale ou VIV)
- **Rôle:** délivrer une irradiation aussi sélective que possible par dépôt d'énergie au niveau des cibles tumorales, de petite taille, mal circonscrites et/ou disséminées dans l'organisme
- **Les radionucléides utilisés sont émetteurs :**
  - $\beta^-$ : iode 131 en pathologie de la thyroïde et des tumeurs endocrines
  - Alpha : particules déposant un TEL élevé par agent vectorisant tel un anticorps dans le cas de la radio-immunothérapie alpha.
  - Autres: électrons Auger ou de conversion interne

# Réaliser une radiothérapie interne

**Modes d'administration:** Voie orale , IV, Voie locale Intra articulaire

**Action biologique:**

- Directe: sur les cellules cibles
- Indirecte: sur les capillaires

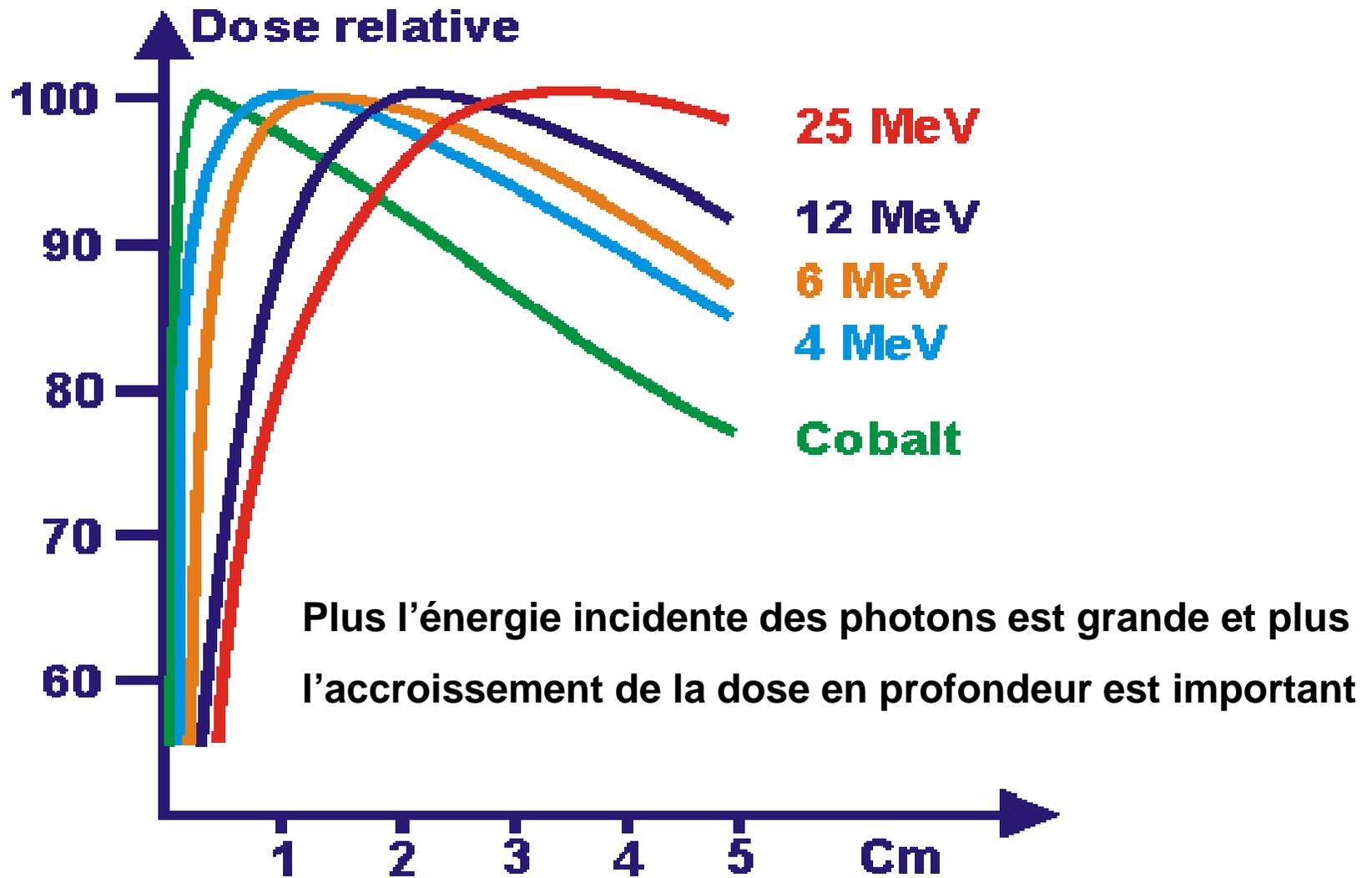
**Modalités en médecine nucléaire:**

- **Irathérapie : traitement par l'iode 131 très fréquents:**
  - forte dose (4 GBq  $\approx$  100mCi) avec hospitalisation en chambre à parois protégées dans les cancers différenciés de la thyroïde
  - faible dose ( $\leq$  900MBq  $\approx$  25 mCi): hyperthyroidies sans hospitalisation
- **Métastases osseuses douloureuses : Sm153, Sr 89:**
- **Certaines pathologies articulaires: Y 90, Re 186**
- **Polyglobulie: P 32**

# Sources et RI utilisés en radiothérapie

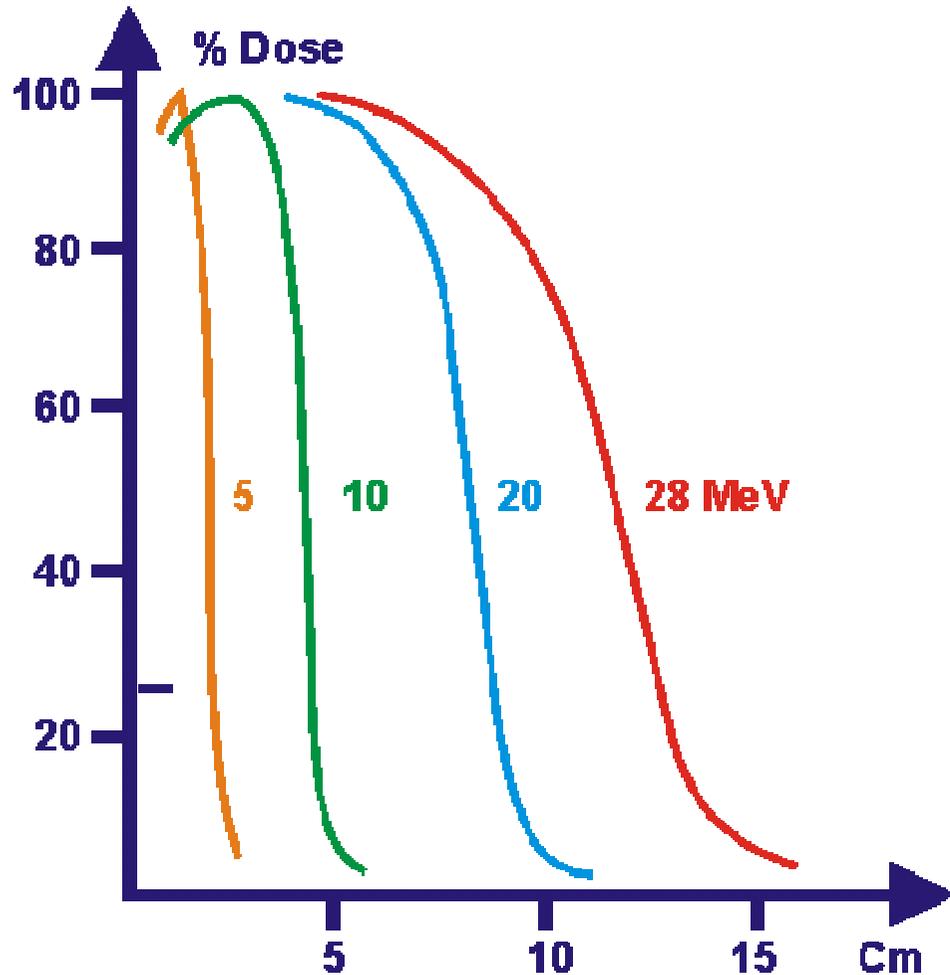
Nature RI	Energie- Technique	Traitement
Tube à RX Accélérateurs	- →RX faible énergie 300 keV max -→RX Haute énergie→ 25 MeV pénétrant profondément sous peau	- Tumeurs cutanées - Tumeurs profondes: thorax abdomen et pelvis
Sources $\gamma$ : - cobalt 60 $\gamma$	$\gamma$ de 1,25 MeV (cobalthothérapie : de - en - moins utilisée) -----	-Tumeurs de la tête et du cou, du sein et des membres -----
-Iridium 192 et -Césium 137	-Curiethérapie: irradiation: - continue à bas débit (0,4-2 Gy/h) -fractionnée à ht débit (> 12 Gy/h) -----	- Cancers petit volume, limités peu accessibles utérus, ORL, peau, sein, vessie.. -----
Multi- faisceaux $\gamma$ de sources de Cobalt-60	-Radiochirurgie extra-crânienne (GammaKnife): nombreux micro- faisceaux $\gamma$ , traitent avec précision de petites tumeurs cérébrales . Disponible au Maroc.	- Petites tumeurs de cerveau - Malformations vasculaires - Affections fonctionnelles

# Energie et efficacité des photons



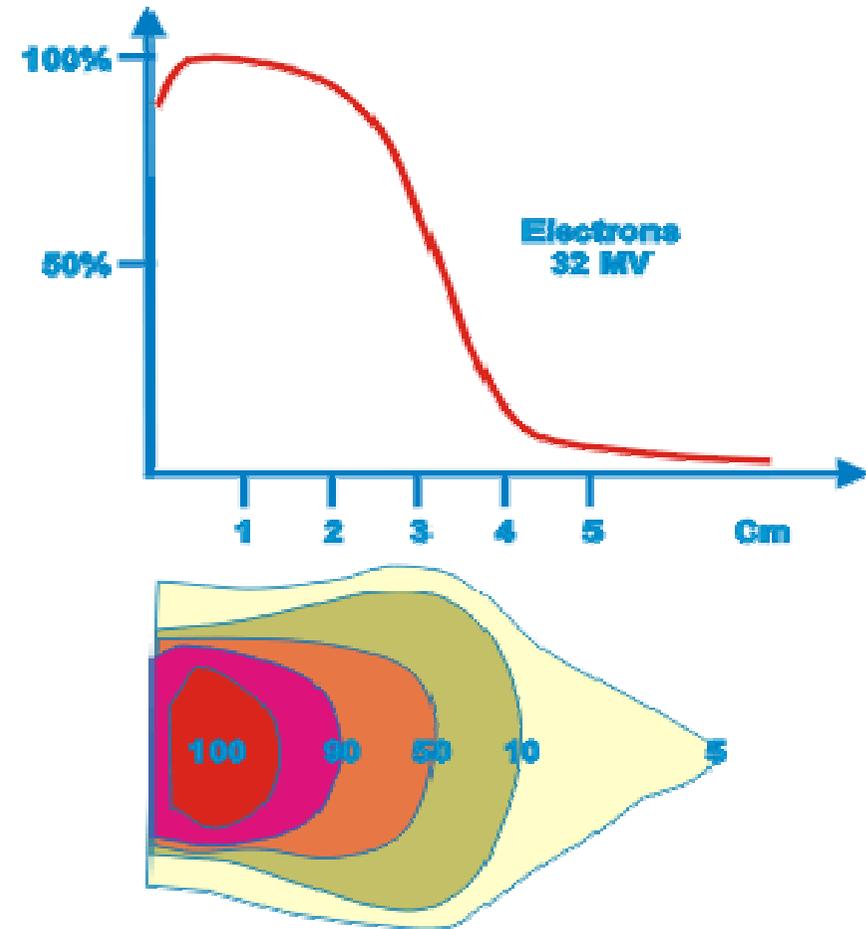
Nature RI	Energie - Technique	Traitement
Électrons Accélérateurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Haute énergie: 6 - 30 MeV</li> <li>- Electronthérapie: électrons actifs en surface et absorption très rapide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Irradiation superficielle</li> <li>- Epargne tissus profonds (ex: moelle épinière)</li> </ul>
Neutrons Cyclotron	<p>→ caractéristique biologique: TEL élevé ↗ ↗ et efficacité ↗ ↗ sur les cellules en hypoxie</p> <p>→ Efficacité 3 x photons</p>	<p>Tumeurs résistantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Glioblastomes</li> <li>-glandes salivaires</li> </ul>
Protons Cyclotron	<p>→ chargés : caractéristique balistique</p> <p>→ En sélectionnant l'Ec, on ajuste le pic de Bragg à la profondeur de la tumeur</p> <p>→ Efficacité ≈ Neutrons</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mélanomes choroïde,</li> <li>- Chondrosarcomes crâne</li> <li>- Méningiome inopérable</li> </ul>
Ions légers Cyclotrons	<p>-caractéristiques balistiques des protons et radiobiologiques des neutrons</p> <p>Carbone: utilisé au Japon essai en Allemagne</p>	
Particule α Cyclotron	<p>→TEL élevé 5: Efficacité 5-10 x celle Photons</p> <p>→ parcours μm-mm dans l'eau: respect des tissus avoisinants. α: Bismuth 212 et 213, Plomb 212, Astate 211...</p>	<p>Radio-immunothérapie micrométastases cancers résiduels</p>

# Les électrons



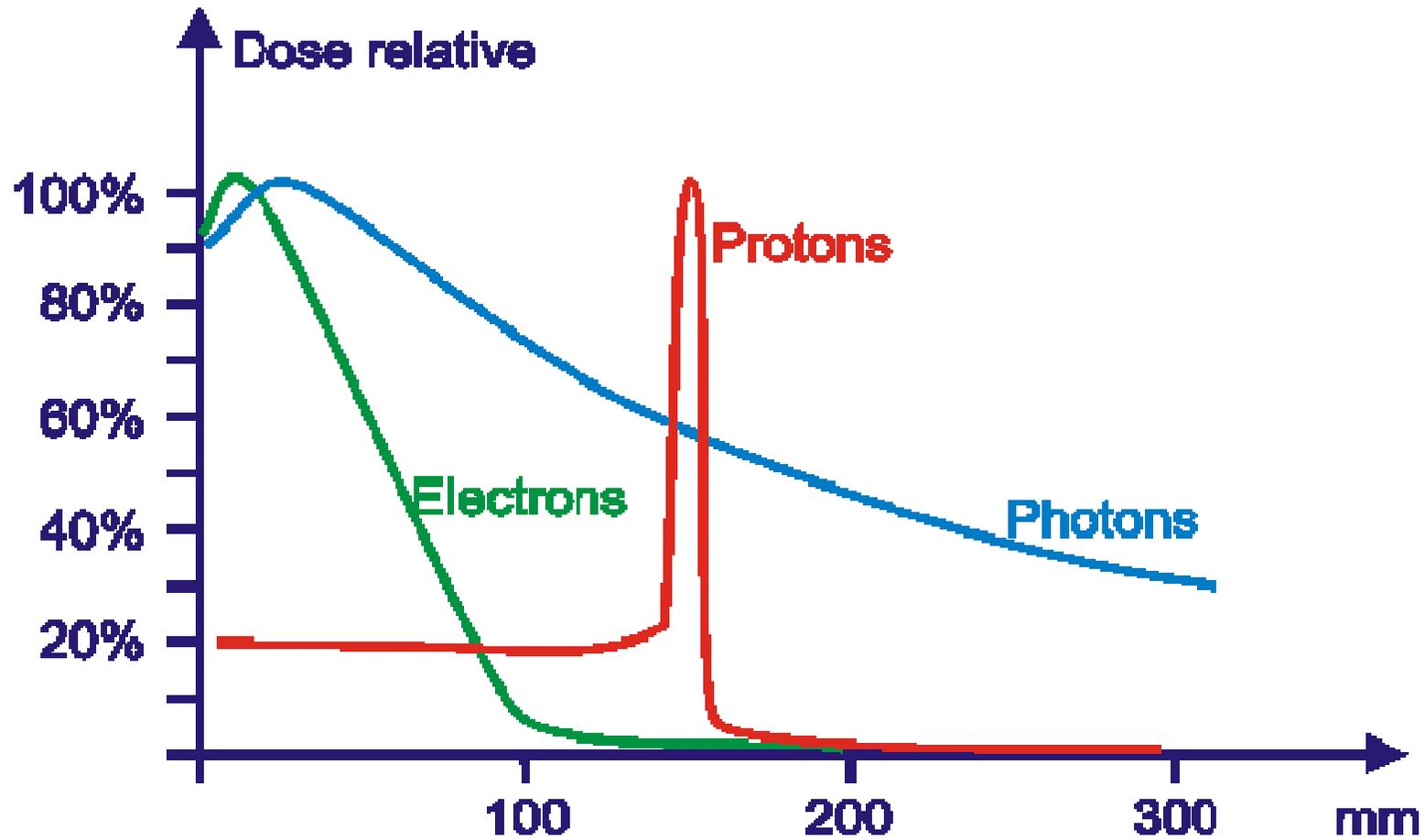
Distribution de la dose en profondeur dans l'eau pour un faisceau d'électrons

02/12/2010



Perte très rapide de pénétration des électrons en profondeur / tissus sus-jacents prennent une dose pleine.

# Pic de Bragg des protons



# Les rayons de l'espoir

- **« On peut concevoir encore que dans des mains criminelles, le radium puisse devenir très dangereux, et ici on peut se demander si l'humanité a, avantage à connaître les secrets de la nature, si elle est mure pour en profiter ou si cette connaissance ne lui sera pas nuisible... Je suis de ceux qui pensent avec Nobel que l'humanité en tirera plus de mal que de bien des découvertes nouvelles »**

*Pierre Curie, 1905 Stocholm*

**Devant l'académie des Sciences de Suède**

# Quelques références

- « **Guide des technologies de l'imagerie médicale et de la radiothérapie: quand la théorie éclaire la pratique** » Par J-P Dillenseger, E. Moerschel, J-P Dillenseger Ed Masson 2009
- **Bases physiques de la radiothérapie- J.N. TALBOT, UPMC et Hôpital Tenon, Paris.**
- **Tumeurs cérébrales: du diagnostic au traitement** J. Philippon Ed Masson- 2004
- **Pionniers de la radiothérapie** .J-P. Camilleri, J. Coursaget-ED. EDS Scineces -2005
- [www.oncoprof.net](http://www.oncoprof.net)- Université de Caen --18/11/2010
- Site de l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire de France)
- **Bases de la radiothérapie- CHU-PS. Pitié Salpêtrière.** [www.chups.jussieu.fr](http://www.chups.jussieu.fr)
- Le point sur les avancées récentes de la radio-immunothérapie alpha. S. Supiot et col. radiothérapie, centre René-Gauducheau, et recherche en cancérologie, Inserm U601, Nantes- Nantes-Saint-Herblain, France