جامعة محمد الخامس السويسي
Université Mohammed V - Souissi

Notions de Radioprotection en Milieu Médical

Pr. Malika ÇAOUI

Service de Médecine Nucléaire-

Hôpital International et Universitaire Cheikh Zaid

Faculté de Médecine et de Pharmacie de Rabat

Généralités

Les RI sont utilisés dans différents secteurs:

- **Domaine médical: radiologie, médecine nucléaire et radiothérapie**
- **Domaine de recherche : Universités et Structures de Recherche…**
- **Milieu industriel civil : utilisation**

  –de l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité dans CN

  – de sources* (jauges) dans des secteurs: génie civil: bâtiments
- **Domaine militaire : armes nucléaires :**
  - **à fission « Bombes A »: Hiroshima, Nagasaki (1945)**
  - **à fusion : - bombes thermonucléaires ou «Bombes H».**

    - bombe à neutrons

    - Les vecteurs ou missiles balistiques surmontés d'ogive nucléaire

Introduction

- **<u>Radiobiologie</u>: étude de l'action des RI sur organismes vivants.**
- **Cette étude est d'une importance primordiale pour:**
  - **la radioprotection individuelle, du public et de l'environnement**
  - **comprendre et prévoir les effets des RI en radiothérapie**
- **<u>Les effets des RI</u> : dépendent de divers facteurs liés:**
  - **aux caractéristiques du RI : type, énergie et parcours**
  - **à la composition de l'organisme : type cellulaire, tissu ou au sujet**
  - **aux différents modes d'irradiation : dose et débit de dose**

L'exposition de l'homme aux RI

L'exposition de l'Homme aux RI peut-être soit:

- **L'exposition totale = Σ expositions (interne + externe)**
- **L'exposition peut-être:**
  - **Globale : corps entier (interne + externe)**
  - **Partielle : partie organisme (interne + externe)**

Les différents modes d'irradiation: on distingue :

1- L'exposition externe

2- La contamination externe

3- La contamination interne

Les différents modes d'irradiation

1- L'exposition externe:

- **Source* est à l'extérieur et à distance de l'organisme; seul le RI atteint l'organisme**
- ***Protection* : *"temps, distance , utilisation d'écrans".***
- ***Un irradié externe ne porte pas de matière*, il n'irradie donc pas.***

2- La contamination externe:

- **Source* est au contact de la peau**
- ***Protection* : confinement des sources et protection vestimentaire des personnes.**
- ***Personne est contaminante pour elle-même et l'entourage (environnement, personnes)***

Les différents modes d'irradiation

3- La contamination interne:

- **Source* est incorporée dans l'organisme**
- ***Protection* :confinement des sources, protection cutanée et respiratoire, règles d'hygiène alimentaire et de chantier.**
- **Création de nouvelles lésions, liée à la présence de RN dans l'organisme, continue après la soustraction de la victime à la source de contamination, et même après la décontamination externe.**

Les caractéristiques du RI

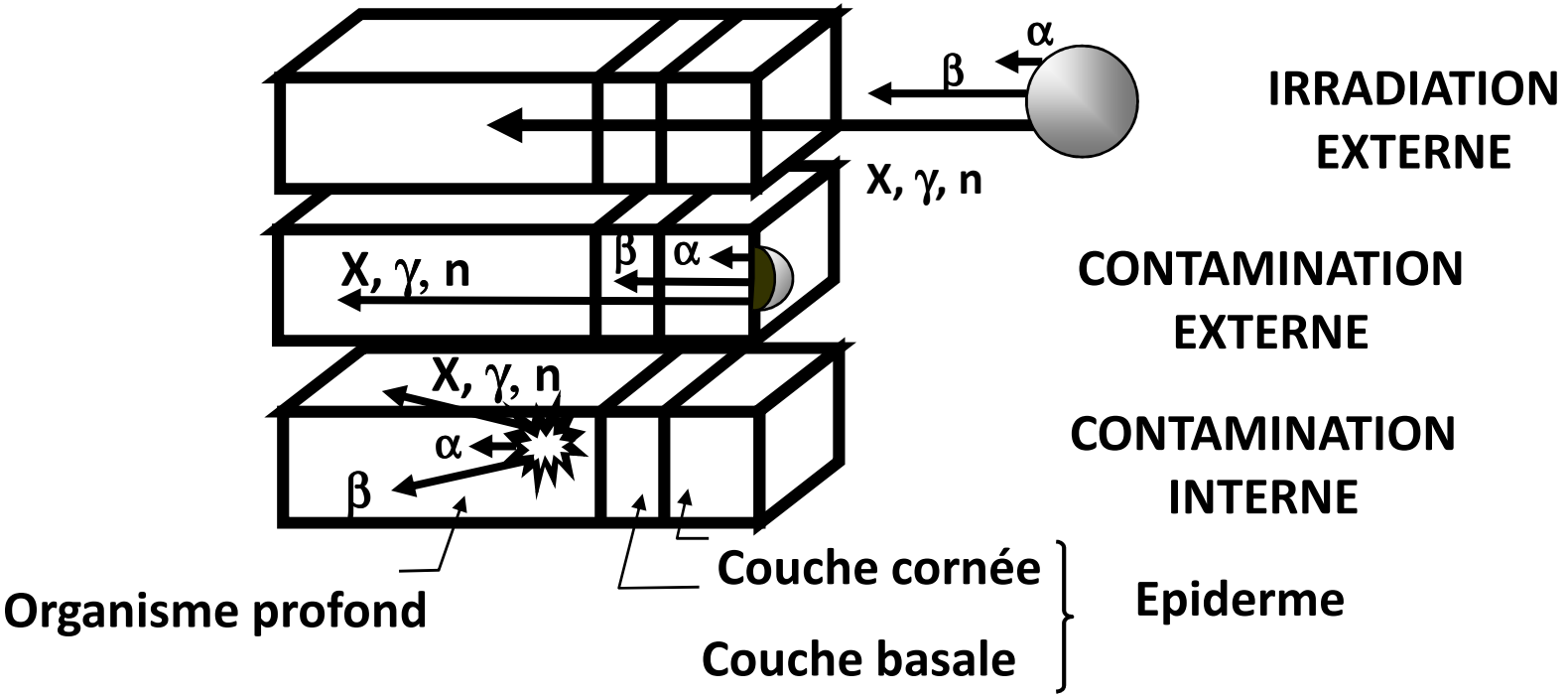
- **Parcours directement lié au transfert linéique d'énergie (TLE)**

	Air	Eau, tissus
alpha	10 cm	Quelques µm
β	1 m	1 mm
X, γ	> 10 ou 100 m	10^{aine} cm
neutrons	> 10 ou 100 m	10^{aine} cm

On distingue au niveau de l'épiderme:

- H_P 0,7 : dose à la peau (C. superficielles: cellules mortes : kératinocytes),

- H_P 10 : dose en profondeur (C. basales : cellules vivantes très actives)



Les caractéristiques du RI

Schéma du parcours des différents rayonnements, en fonction de leur nature et du mode d'irradiation

Dose absorbée: D +++

- **D = dE / dm : J. kg^{-1} = Gray : Gy**
- **1 J.kg^{-1} = 1Gy = 100 rads (ancienne unité)**
- **Importance fondamentale en radiobiologie et en radioprotection**
- **<u>Les doses absorbées</u>: variables selon les applications:**

  - 0,2 mGy : RX dentaire **- 1 mGy : cliché thorax**

  - 2 Gy: séance de radiothérapie **- +++kGy: ionisation des aliments**
- **Une Dose de 1Gy provenant d'une source β *ne produira pas les mêmes effets biologiques* qu'une Dose de 1 Gy provenant d'une source α!**
- **(Notion d'Efficacité biologique Relative: EBR!)**
- **D'où nécessité d'introduire un autre paramètre!**

La dose équivalente: H +++

- **En radioprotection, on tient compte de la nocivité propre des différents RI, en appliquant à D un facteur de pondération W_R lié à la qualité du RI**

$$H_T = W_R \cdot D_{TR}$$

- **H_T : Dose équivalente à l'organe T irradié *ne se mesure pas, se calcule.***
  - **H_T compare des doses délivrées par des RI différents.**
  - **Unité H_T : Sievert (Sv); 1Sv = 100 Rems (ancienne unité)**
- **D_{TR}: Dose moyenne dans l'organe T due au rayonnement R en Gy**
- **W_R : Facteur de pondération radiologique, s'applique à *la dose moyenne reçue* par le tissu ou l'organe irradié.**

Facteur de pondération radiologique W_R

- **Donc W_R dépend du *type* et de l'*énergie* du RI .**
- **Mais W_R est indépendant de la nature du tissu ou de l'organe irradié**
  - **W_R = 1 : RX - Rγ - é : toutes énergies**
  - **W_R = 5 : protons ; neutrons < 10 keV ;**
  - **W_R = 10 : neutrons : 10-100 keV;**
  - **W_R = 20 : α , ou neutrons : 100KeV à 2 MeV**

Ex : En contamination interne: D de 1 Gy, (dose engagée dans l'organisme):

- **H = 1 (D) x 1 (W_R) = 1 Sv si élément* incorporé: K40 (β, γ): W_R = 1**
- **H = 1 (D) x 20 (W_R)= 20 Sv " ": Thorium 232 (α): W_R = 20**

Dose efficace: E +++

- **La dose équivalente à un organe H_T ,affectée de W_T , devient pour l'organisme entier (personne) la dose efficace.**
- **Dose H_T à un organe $\Rightarrow$ dose efficace E**

$$H_T \cdot W_T = E$$

- **H_T : Dose équivalente à l'organe T en Sv**
- **E : Dose efficace en Sv**
- **W_T : : Facteur de pondération tissulaire , W_T est *lié à la nature du tissu ou de l'organe exposé,* donc à la radiosensibilité de l'organe.**
- **W_T : est indépendant de la nature du RI. (Bien distinguer W_R et W_T !)**

Les valeurs des facteurs de pondération W_T pour les tissus retenues par la CIPR 60

Tissu ou organe	Facteur de pondération pour les tissus, W_T
Gonades	0,20
Moëlle osseuse (rouge)	0,12
Colon	0,12
Poumon	0,12
Estomac	0,12
Vessie	0,05
Sein	0,05
Foie	0,05
Œsophage	0,05
Thyroïde	0,05
Peau	0,01
Surface des os	0,01
Autres tissus ou organes	0,05

La somme des facteurs de pondération est égale à 1.

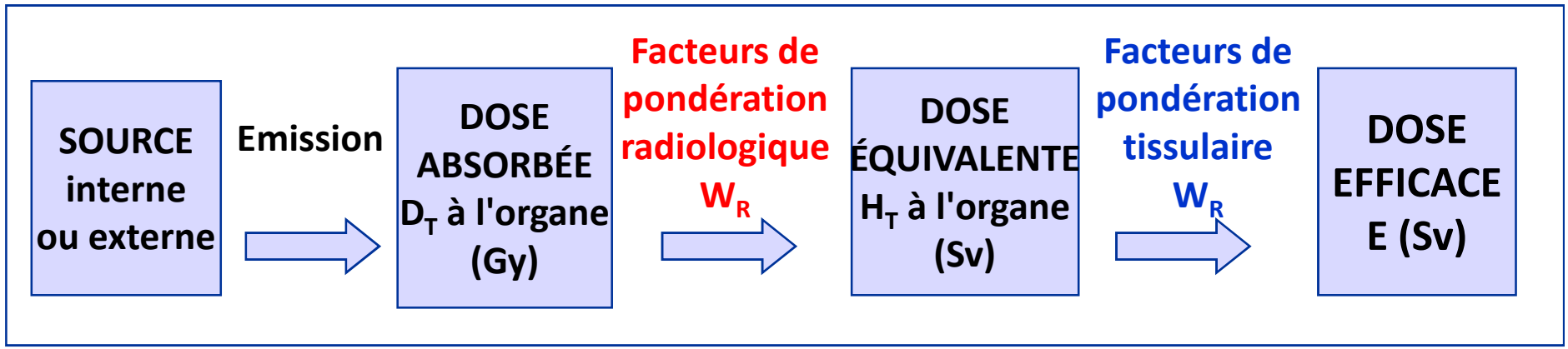
Signification de la dose efficace (E)

- **Le sujet qui a reçu une dose équivalente H_T à un organe, donc une dose efficace $E = H_T . W_T$, subit un détriment égal à celui qu'il aurait subi s'il avait reçu une dose équivalente à l'organisme entier $H_{oe} = E$.**
- **Le niveau du préjudice ou détriment est le même que l'irradiation ait lieu à l'organisme entier ou qu'elle ait été partielle.**

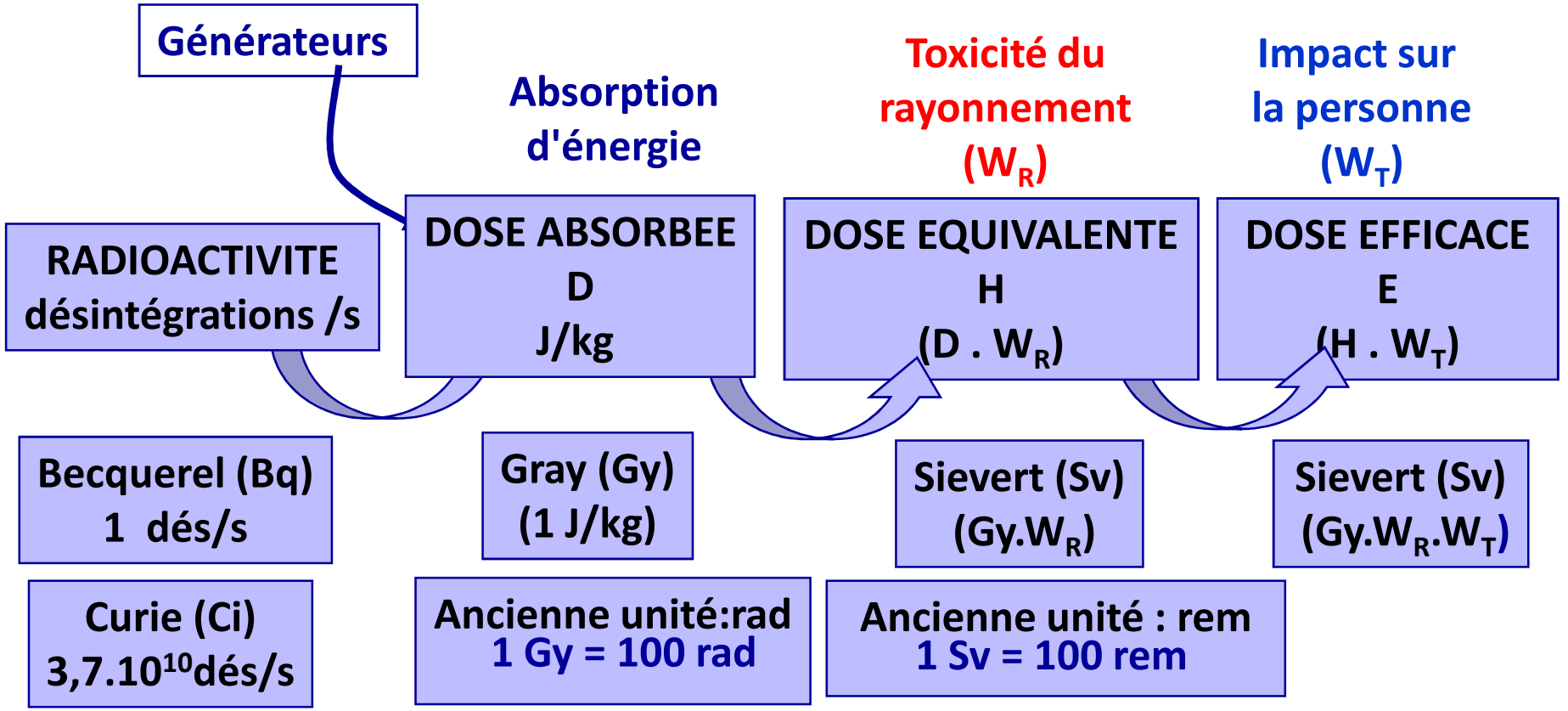
Exemple :

- **Si une personne reçoit une H_T de 100 mSv à la thyroïde ($W_T = 0,05$), il a reçu une dose efficace E = 5 mSv.**
- **Cela signifie qu'il subit le même niveau de détriment que s'il avait reçu une dose équivalente à l'organisme entier de 5 mSv**

Facteurs liant la dose au risque



Relation entre dose absorbée, dose équivalente et dose efficace (CIPR 73)


Générateurs
Absorption d'énergie
Toxicité du rayonnement (W_R)
Impact sur la personne (W_T)
RADIOACTIVITE désintégrations /s
DOSE ABSORBEE D J/kg
DOSE EQUIVALENTE H ($D . W_R$)
DOSE EFFICACE E ($H . W_T$)
Becquerel (Bq) 1 dés/s
Gray (Gy) (1 J/kg)
Sievert (Sv) ($Gy.W_R$)
Sievert (Sv) ($Gy.W_R.W_T$)
Curie (Ci) $3,7.10^{10}$dés/s
Ancienne unité:rad 1 Gy = 100 rad
Ancienne unité : rem 1 Sv = 100 rem

Principes fondamentaux de la radioprotection

Trois principes de base de la Réglementation: CIPR (1928)

1- Justification d'activités: éviter toute exposition inutile pouvant engendrer un risque

2- Optimisation de la Radioprotection : toute exposition aux RI (si elle est justifiée) doit être réduite autant qu'il est raisonnablement possible de le faire.

Principe « ALARA » (*As Low As Reasonably Achievable*).

3- Limitation des expositions individuelles: doit être fixe, pour tout professionnel ou personne du public, des limites de dose individuelles infranchissables dans les conditions normales de vie ou de travail.

si une exposition est justifiée, on doit rechercher des niveaux de dose les plus bas raisonnablement possible, au dessous de limites qu'il est interdit de dépasser

Quelques précisions

- **Les limites sont fixées en termes de dose efficace (E)**
- **Pour organes exposés: en dose équivalente: (H_{organe}).**
- **(E) à prendre en considération est la somme des doses efficaces dues à l'irradiation externe et de celles dues à la contamination interne.**

$$E = E_{ext} + E_{int}$$

Travailleurs catégorie A et B

Travailleurs catégorie A :

- **Appelés auparavant "directement affectés aux travaux sous RI" (DATR).**
- **Travailleurs qui, dans les conditions normales de travail, risquent de recevoir**
- **Une dose efficace annuelle supérieure à 6 mSv (mais toujours < à 20 mSv),**
- **Ou une dose équivalente à 3/10 d'une autre limite**
- **Femmes enceintes et apprentis < 18 ans sont exclus de cette catégorie A.**

Travailleurs catégorie B:

- **risquent, de dépasser une limite pour le public**
- **mais ne risquent pas de dépasser une dose efficace de 6 mSv par an ou 3/10 d'une autre limite fixée pour la catégorie A.**

Limites réglementaires

Travailleurs professionnellement exposés, en 2 catégories, A et B

et des limites pour les personnes du public.

	Catégorie A Risque de recevoir E/an > 6mSv	Catégorie B Risque de ne pas dépasser E/an de 6 mSv	Public
$E = E_{ext} + E_{int}$	20	6	1
H peau (1 cm²)	500	150	50
H extrémités$_1$	500	150	
H cristallin	150	45	15

Limites annuelles de dose (en mSv) en fonction de la catégorie de personnel et de l'organe exposé 1 : Mains, poignets, pieds, chevilles.

Les limites "catégorie B" sont 3/10 des limites "catégorie A".

Les zones réglementées

Bulletin officiel, RF- Numéros 32-34
PCR Principes de radioprotection –réglementation « C. Jimonet, Henri Métivier – 2007 » -

Zone	surveillée Bleue ou grise	contrôlée simple Verte	contrôlée jaune	contrôlée orange	interdite Rouge
Dose efficace E/an : mSv E/heure : Débit dose:	 1 < E < 6 E/h < 7,5 mSv	 6 < E < 20 E/h < 25 µSv	 E < 20 E/h < 2 mSv < 2 mSv/h	 E < 20 E/h <100 mSv < 100 mSv/h	 E/h > 100 mSv > 100 mSv/h
Catégorie A	illimité	illimité	illimité	limité	très limité
Catégorie B	illimité	illimité	limité	très limité	exceptionnel
Public	illimité	exceptionnel	exceptionnel		

Quelques meures de Radioprotection

Surveillance médicale du personnel

La surveillance médicale du personnel exposé

- **Examens médicaux périodiques: visite médicale initiale et périodique.**
- **Etablir une fiche individuelle d'exposition , dossier médical spécial et une carte individuelle de suivi médicale (rôle du médecin du travail)**

La surveillance de l'exposition

- **Dosimétrie externe passive: par dosimètres à lecture différée (RX, Rγ , béta, neutrons). Surveillance périodique de l'irradiation externe.**
- **Dosimétrie externe opérationnelle: dosimètre électronique à lecture immédiate.**
- **Dosimétrie interne: pour la contamination**
  - **Anthropogammamétrie: détecter et identifier la quantité d'un RN émetteur Rγ**
  - **Radiotoxicologie : détecter la présence d'un RN dans les urines, selles..**

La radioprotection des patients

Application du principe de justification :

- **Justification de toute prescription avant d'être réalisée : l'avantage / risque**

Application du principe d'optimisation :

- **Choix optimisé de l'examen et de la dose**
- **Respect du protocole , des procédures et des doses administrées**

Responsabilité et traçabilité des actes :

- **Indiquer la dose délivrée au patient sur le compte-rendu**
- **Informer oralement et par écrit le patient et l'entourage sur l'acte (médecine nucléaire :patient constitue lui-même une source, à l'hôpital et après sa sortie)**

Mesures contre l'exposition Externe

Distance :

- **H_1 et H_2 : Débits de dose équivalente et d_1 et d_2 : distances respectives**
- **$H_1 / H_2 = (d_2 / d_1)^2$:**
- **D : obéit à la loi de l'inverse carré de la distance.**

Temps d'exposition : T.E

  - **Pour un Débit de dose donné : D est proportionnel à T.E**
  - **Réduire au min la durée d'exposition.**

Utilisation d'écrans: **Ce moyen est très efficace**

- **Ecrans contre α : très minces : mica – Aluminium - cuivre – Argent**
- **Ecrans contre β : matériaux légers : absorption totale**
- **Ecrans contre X et gamma : Ex: Plomb : CDA = X_2 ou X_{10}**

Des règles à respecter en radioprotection

- **Disposer de locaux adéquats et agencés selon les normes**
- **Utiliser un équipement adapté : maitrisé par un personnel qualifié**
- **Assurer l'entretien de l'équipement et le contrôler périodiquement**
- **Respecter les consignes de radioprotection par le personnel et par le public**
  - **Porter de blouses et de gants par le personnel.**
  - **Identification des préparations de sources**
  - **Interdire de boire, manger, fumer en zone contrôlée..;**
- **Informer le patient et l'entourage fréquentant les lieux d'imagerie médicale**
- **Rôle de la PCR: Personne Compétente en Radioprotection+++**

Quelques références bibliographiques

- « Notions de radiobiologie et de radiopathologie » : cours de l'INSTN -2008 JB.Fleutot : Enseignant à l'INSTN et à l'AIEA (radiobiologie)- Spécialiste, inspecteur en radioprotection et conseiller médical de l'Autorité de Sûreté Nucléaire de Défense (France). Enseignant et membre du Conseil Pédagogique du Mastère européen de radioprotection
- « Eléments de radioprotection » .JB.Fleutot- INSTN -2009
- www.cnebmn.jussieu.fr : Collège National des Enseignants de Biophysique et de Médecine Nucléaire
- D.J. GAMBINI / R. GRANIER, décembre 2000. Manuel pratique de radioprotection. Editions Médicales Internationales.
- Rapport sur les travaux de la 54ème session de l'UNSCEAR, 2006, supplément N° 46.