

# La dosimétrie

## Introduction

La radioprotection est un ensemble de mesures destinées à assurer la protection de l'homme et de l'environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants tout en les exploitant.

La radioprotection est le fruit d'une prise de conscience progressive depuis la découverte de la radioactivité. Jusqu'au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle, on s'en tenait à éviter des effets déterministes par le principe de limitation. Passé 1950, le principe de précaution est apparu. On envisage l'utilisation des rayonnements ionisants selon un rapport bénéfices / risques et le principe ALARA. *(Il signifie "As Low As Reasonably Achievable", ce qui se traduit littéralement par "Aussi Bas Que Raisonnablement Possible". Cette expression désigne le principe selon lequel il faut minimiser l'exposition aux radiations ionisantes aussi bas que raisonnablement possible, tout en tenant compte des facteurs pratiques et économiques. En d'autres termes, il s'agit de maintenir les doses de radiation aussi faibles que possible, en prenant en considération les circonstances et les moyens disponibles. Ce principe est largement appliqué dans divers domaines où l'exposition aux radiations est possible, tels que la médecine nucléaire, l'industrie nucléaire et les installations médicales utilisant des rayonnements ionisants.)*

La dosimétrie, au cœur de la radioprotection, est l'étude et la mesure des doses de radiation absorbées par les organismes vivants.

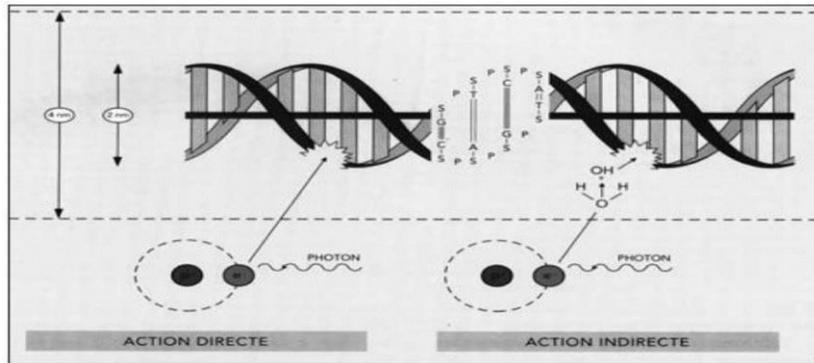
Ce domaine crucial s'applique à divers contextes, notamment en médecine, en industrie et dans les activités nucléaires. Comprendre la dosimétrie est essentiel pour évaluer les risques et garantir la sécurité des individus exposés aux radiations.

## Effet biologique des radiations

Les rayonnements ionisants lors de leur interaction avec la matière provoquent des ionisations et des excitations qui peuvent entraîner des **modifications de structure** de cette matière au niveau des atomes et des molécules.

Dans la cellule vivante, certaines de ces altérations peuvent avoir des conséquences à court ou à long terme.

Les effets les plus graves se produisent au niveau de la molécule d'ADN par l'action direct ou indirect (la création de radicaux libres toxiques)



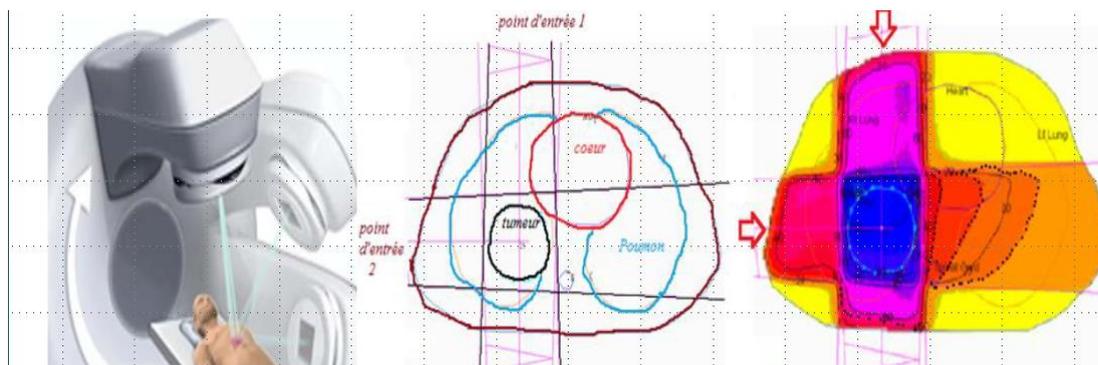
Le but de la dosimétrie est d'étudier la quantité de rayonnement absorbée par la matière dans le but d'évaluer son effet sur les tissus sains et les tissus malades en radiothérapie, l'effet des rayons X utilisés en radiodiagnostic, l'exposition des personnels médicaux

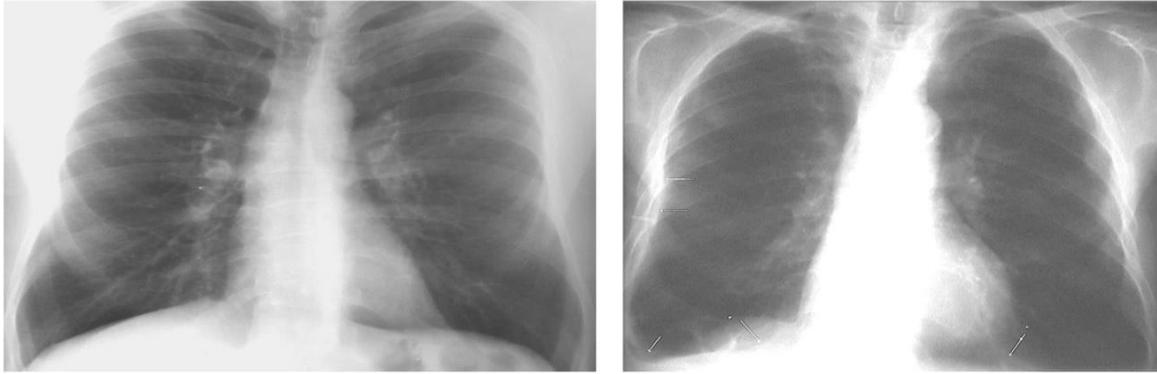
Pour appliquer ces principes, la radioprotection met en œuvre des moyens réglementaires et techniques spécifiquement adaptés à trois catégories de population : le public, les patients et les travailleurs.

En dosimétrie, l'interaction des rayonnements avec la matière aboutit à un transfert et dépôt d'énergie dans la matière.

Ce qui rend nécessaire de mieux caractériser cet échange énergétique et de quantifier les doses de rayonnements mises en jeu. Il faut donc considérer l'énergie émise par la source et transportée par le faisceau, l'énergie transférée au milieu et enfin l'énergie absorbée par le milieu.

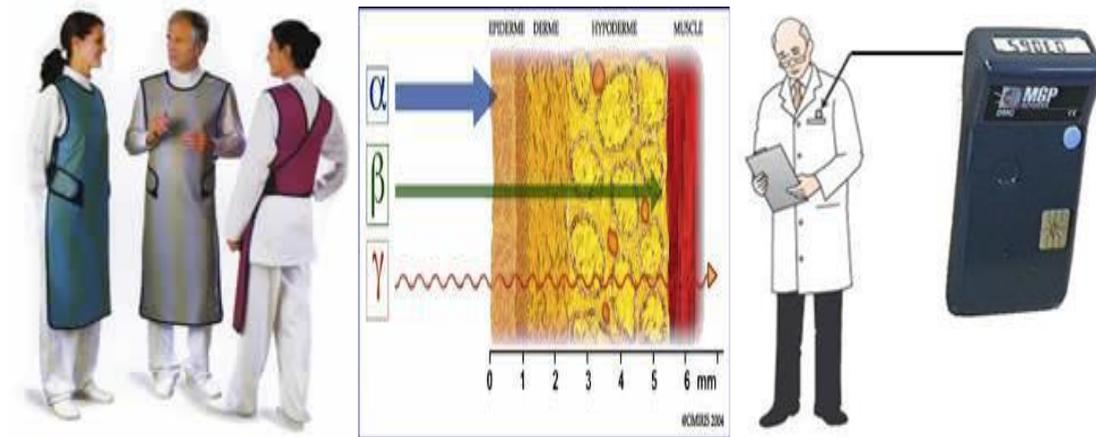
Autrement dit c'est Optimiser les effets des traitements irradiants en radiothérapie aussi bien sur les tissus sains que les tissus tumoraux





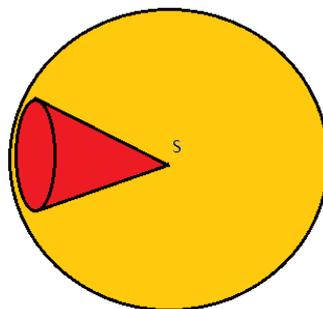
Elaborer et maitriser les protocoles radiologiques lorsque les rayonnements ionisants (directs ou indirects) sont utilisés à des fins diagnostiques

Définir des normes de protection vis-à-vis de ces rayonnements (radioprotection) afin d'éviter l'apparition des effets de ces rayonnements sur l'Homme (radiobiologie).



### Caractéristique d'un faisceau de photon.

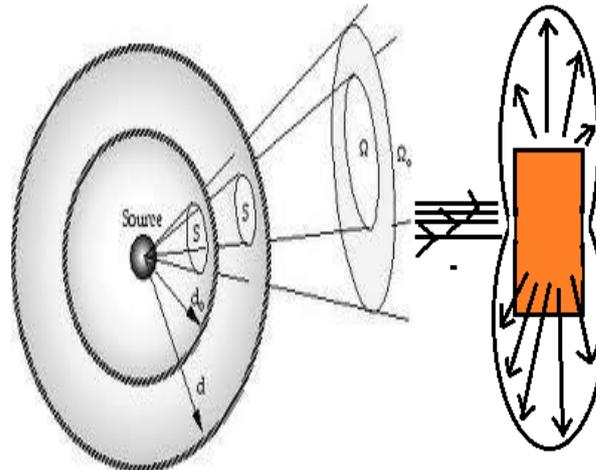
•Le faisceau de photon correspond à une portion bien définie de l'émission totale de la source de rayonnement, et certains paramètres (énergie transportée, direction des photons, spectre d'énergie) permettent de la caractériser,



### Répartition spatiale

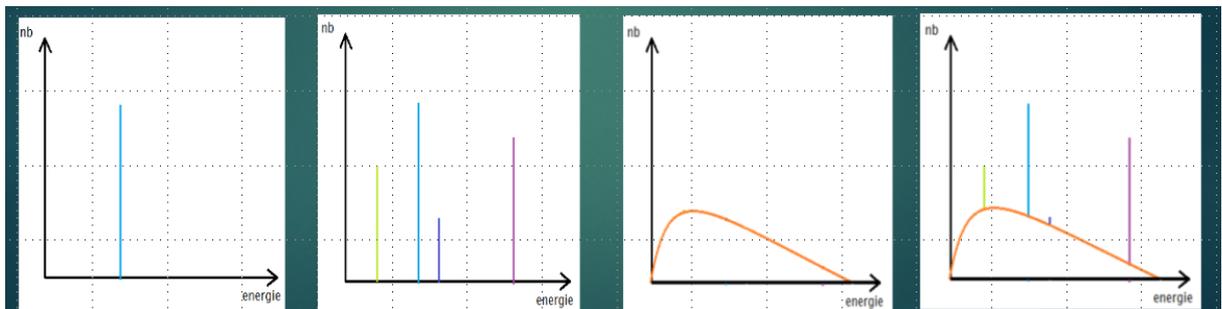
•lorsque l'émission de photon ce fait dans tout l'espace entourant la source (dans toutes les directions) on parle d'une émission « isotrope » c'est le cas d'une source d'élément radioactif sans protection

•si cette émission se fait dans une ou des directions précises alors l'émission est « anisotrope » comme l'émission des rayons X.



**Répartition spectrale.** C'est la représentation des énergies de photons se trouvant dans le faisceau.

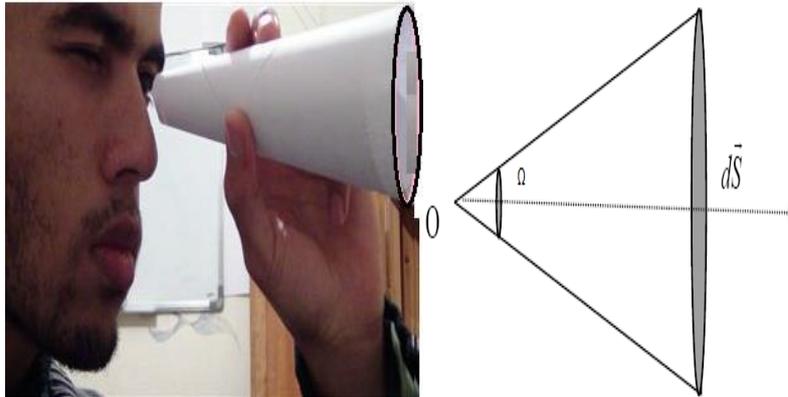
- Le faisceau peut comporter des photons avec une ou des énergies bien finis et on aura un « spectre de raie »,
- Il peut comporter des photons prenant toutes les valeurs énergies possibles et on aura un « spectre continu »,
- Parfois les deux spectres peuvent se superposer pour donner un « spectre mixte ».



Un faisceau de photon mono énergétique issu d'une émission isotrope dans le vide à partir d'une source radioactive ponctuelle, de sommet O irradiant une surface ds à travers l'angle solide  $d\Omega$ .

- L'angle solide étant l'angle qui délimite une partie de l'espace où les photons atteignent la surface ds perpendiculaire au faisceau

- (angle par lequel la source O voit la surface ds).



### Paramètres énergétiques.

- Flux énergétique.** c'est l'énergie transportée par le faisceau par unité de temps. Son unité est le watt ou joule/seconde (J/s).

$$\phi = dW/dt$$

- Eclairement énergétique en un point P** .c'est le flux de photon éclairants la surface ds, son unité est watt/m<sup>2</sup>.

$$E = d\phi/dS$$

**Fluence énergétique.** ou densité surfacique d'énergie et c'est l'énergie des photons arrivants au point P de la surface ds, exprimé en joule/m<sup>2</sup>(J/m<sup>2</sup>).

$$F = dE/dS$$

- Intensité énergétique.** c'est le flux de photon émis dans l'angle solide dΩ, exprimé en watt/stéradian.

$$I = d\phi/d\Omega$$

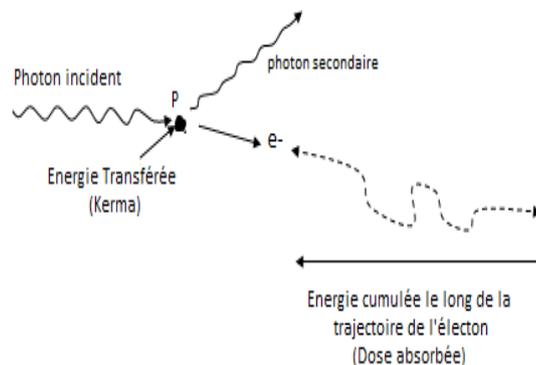
### Concept général

- Chaque interaction des photons a pour effet de projeter un électron, le plus souvent vers l'avant. L'énergie cinétique de cet électron est l'énergie transférée par le rayonnement, a l'endroit même de l'interaction.

•Cet électron perdra progressivement son énergie sous forme d'ionisation et d'excitation le long de sa trajectoire dans la matière et c'est l'énergie absorbée qui est responsable de l'effet sur la matière

La dose absorbée D représente le rapport de l'énergie cédée dans un élément de volume de masse m

$$D = \frac{E_a}{m} \left( \frac{J}{Kg} = Gray \right)$$



### KERMA

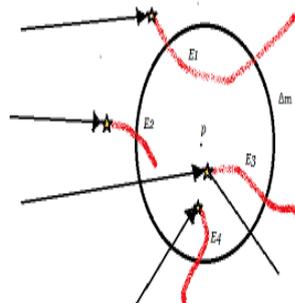
•Energie Cinétique Transférée (libérée) par unité de Masse

Au cours de l'irradiation, des photons entrent dans la sphère avec une énergie  $E_e$  et d'autres sortent avec une énergie  $E_s$ , après avoir eu ou non des interactions,

•Le KERMA a pour effet de caractériser les transferts d'énergie en un point P d'un matériau homogène.

L'énergie transférée dans la sphère est  $E_k = E_e - E_s$

$$K = \frac{E_k}{m} \left( \frac{J}{Kg} = Gray \right)$$



C'est la somme des énergies des électrons mis en mouvement dans  $\Delta m$  par unité de volume  $\Delta m$ .

La quantité de l'énergie transférée dépend de l'énergie des photons et de la nature de l'absorbant;

Si l'on suppose que l'énergie  $E$  des photons suit une loi d'atténuation exponentielle.

$$E = E_0 e^{-\mu x}$$

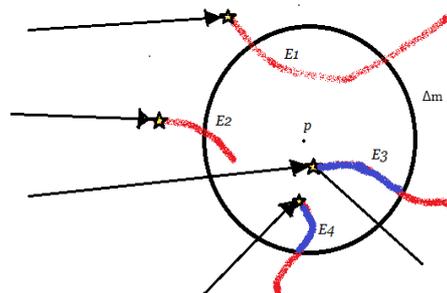
$$dE = -\mu E_0 e^{-\mu x} dx$$

$$\frac{dE}{dm} = -\frac{\mu E_0 e^{-\mu x} dx}{\rho ds dx} = \frac{\mu}{\rho} \frac{E}{ds} = \frac{\mu}{\rho} F$$

On déduit donc que  $K = \frac{E}{m} = \frac{\mu}{\rho} F$

Pour deux milieux différents irradiés par le même rayonnement, on aura alors:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\frac{\mu_1}{\rho_1} F}{\frac{\mu_2}{\rho_2} F} = \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2}$$



$$K = E_3 + E_4$$

•Le Kerma ( $K$ ) est proportionnel à l'énergie transférée ( $E_t$ ) du photon et du matériau traversé (prenant une petite masse  $\Delta m$ ).

•Malheureusement le Kerma n'est en pratique pas mesurable, il ne dépend pas de l'entourage

•la connaissance de la fluence  $F$  en un point permet de déterminer  $K$  en ce point donc il est calculable.

$$K = F \left( \frac{\mu}{\rho} \right)$$

Remarque: le KERMA n'est pas une quantité mesurable mais est calculé par rapport à un milieu de référence (l'air en général)

Dose absorbée:

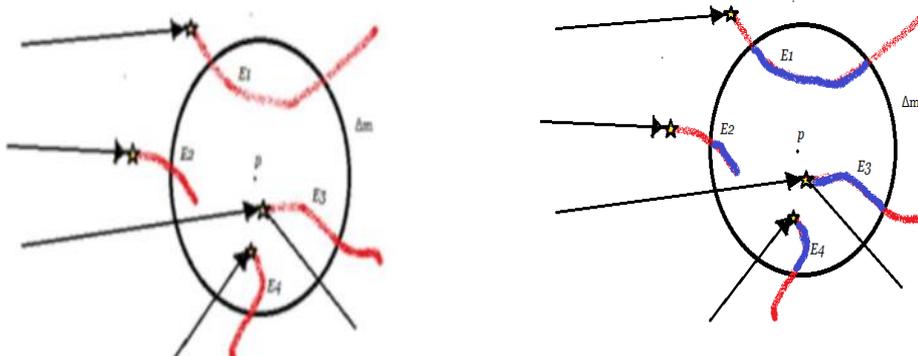
- C'est la somme des énergies crée lors des trajets électroniques eux même créés soit en dehors de  $\Delta m$  ou à l'intérieur.

- Elle caractérise l'absorption d'énergie en un point P.

C'est un paramètre mesurable mais techniquement difficile (placer des détecteurs à l'intérieur des tissus).

- Son unité correspond à une énergie par unité de masse 1 joule/Kg (J/Kg) = Gray (Gy)

Autrement dit la dose absorbée est la quantité d'énergie des rayonnements qui est absorbée par un tissu ou un matériau lorsqu'il est exposé à des rayons X ou d'autres formes de rayonnements.



$$D = E1 + E2 + E3 + E4$$

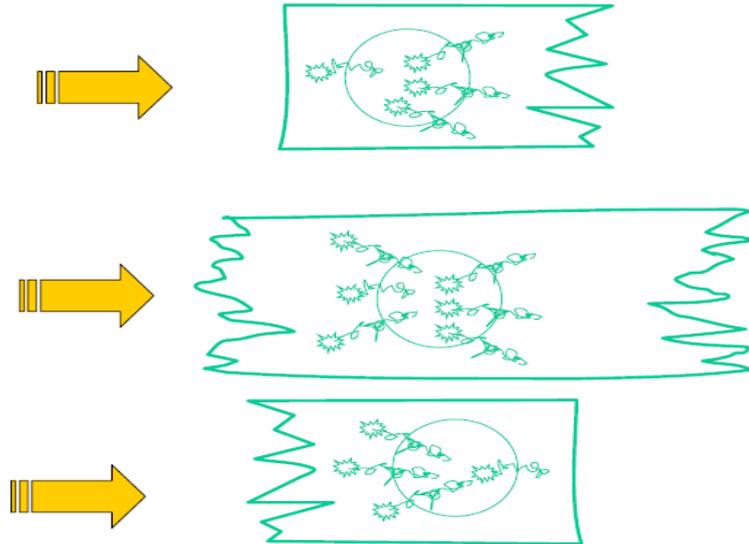
### Equilibre électronique.

- C'est la condition où la dose absorbée est égale au Kerma c'est-à-dire qu'il y'a compensation entre l'énergie emportée à l'extérieur par les électrons nés dans  $\Delta m$  et l'énergie apportée à  $\Delta m$  par les électrons nés à l'extérieur,

La dose absorbée=la dose transférée

On obtient  $\frac{D_2}{D_1} = \frac{K_2}{K_1} = \frac{\frac{\mu_2}{\rho_2}}{\frac{\mu_1}{\rho_1}}$

Les conditions d'équilibre électronique ne sont pas vérifiées pour les faisceaux de photons très énergétiques (> à 3MeV).



### Exposition.

•L'exposition a pour but de caractériser un faisceau de rayons X par l'ionisation qu'elle procure dans l'air, tout au long de leurs trajectoires les électrons mis en mouvements dans une petite masse d'air

•L'unité légale est le coulomb/Kg, mais pour des raisons historiques c'est le röntgen (R)

•1 C/kg = 3876 R

L'exposition « X » est le nombre d'ionisation créées dans la matière par unité de masse;

$$X = \frac{Q}{m}$$

L'énergie d'ionisation c'est l'énergie nécessaire pour créer une paire d'ion.

Exemples:  $E_i(\text{air}) = 34\text{eV}$ ;  $E_i(\text{eau}) = 32\text{eV}$ ;  $E_i(\text{Hydrogène}) = 13,6\text{eV}$

$E_i(\text{Oxgène}) = 522\text{eV}$ ;  $E_i(\text{plomb}) = 88000\text{eV}$

Le nombre moyen de paires d'ions créé par les photons étant:  $n = \frac{E_t}{E_i} = \frac{E_c}{E_i}$

La charge moyenne totale libérée par chaque ion:  $Q = ne = \frac{E_c}{E_i} e$

( avec  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{coulomb}$

### Calcul de la dose absorbée.

•Le but est d'arriver à trouver la dose absorbée  $D_{\text{tissu}}$  dans le tissu.

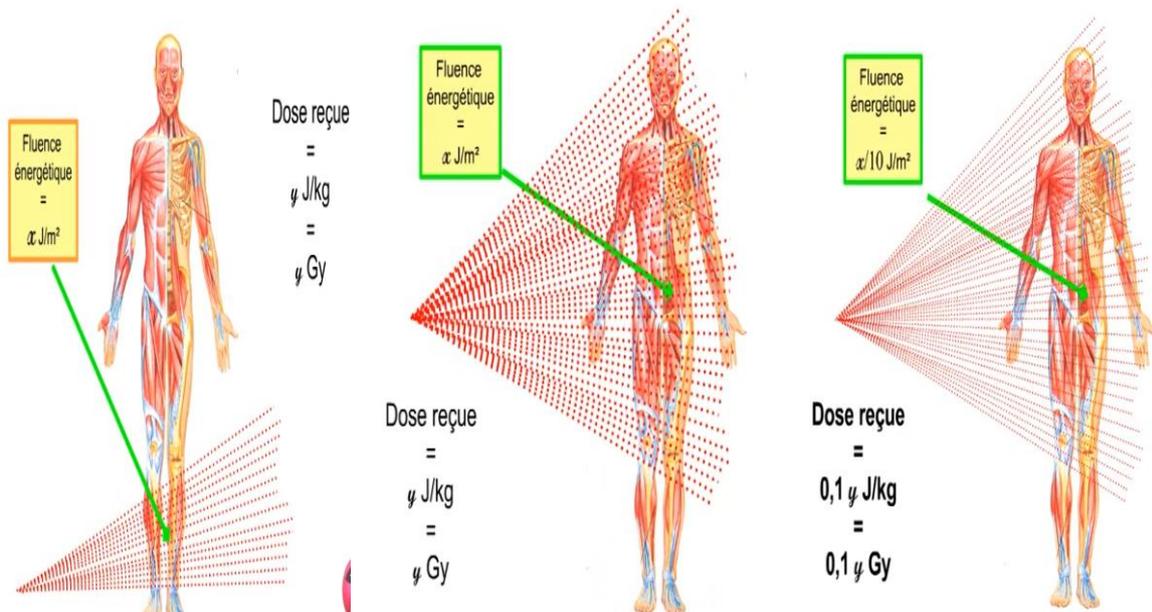
• On se place dans les conditions d'équilibre électronique et on mesure dans l'air avec une chambre d'ionisation, l'exposition en Roentgens due aux rayonnements incidents.

• A partir de l'exposition en (R) on calcul la dose absorbée par le milieu en Gray (Gy); la dose D calculée dans l'air est donnée par:  $D_{air} = 87 \cdot 10^{-4} \cdot X_{air}$

• Le calcul de la dose dans le tissu fait intervenir le coefficient d'atténuation massique de l'air et du tissu. On donne directement la dose absorbée dans le tissu par:

$$D_{tissu} = 87 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{tissu}}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{air}} X_{air}$$

**« il vaut mieux recevoir sur la tête 1 kg de plumes que 1 kg de plomb... »**



## CONCLUSION

• Pour mesurer la dose absorbée dans un tissu on est obligé de passer par un ensemble de conditions et d'approximations qu'on suppose présents, on voit qu'à partir d'une mesure dans l'air de l'exposition, on peut déduire et calculer la dose absorbée dans le tissu.

• Ceci rend compte de la réelle difficulté en pratique médicale de réaliser un calcul réel et exacte de la dose, lorsqu'il s'agit du corps humain avec ses différentes densités de tissu et la profondeur à laquelle on veut faire notre mesure.

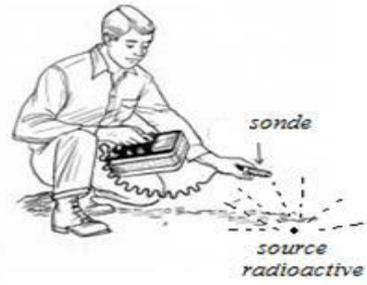
•Néanmoins, grâce un appareillage simple, la dose absorbée est bien connue et utilisée en radiothérapie et en médecine nucléaire mais aussi en radiologie et radioprotection.



*Chambre d'ionisation*



*activimètre*



*Geiger-Muller*