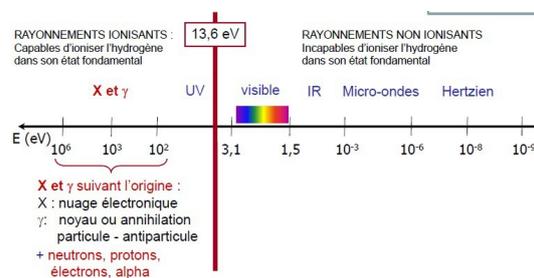


# Chapitre I : Production de rayonnement ionisant électromagnétique

*Cours Radiobiologie Radioprotection*



Dr. Lezzar

# Table des matières



<b>Introduction</b>	3
<b>I - Rayonnement X</b>	4
1. Rayonnement de fluorescence .....	4
2. Rayonnement de freinage .....	5
<b>II - Production des rayons X</b>	7
<b>III - Rayonnement gamma</b>	9
<b>IV - Production des rayons gamma</b>	10

# Introduction



Les rayons gamma sont produits par des transitions nucléaires tandis que les rayons X sont produits par des transitions électroniques provoquées en général par la collision d'un électron avec un atome



# Rayonnement X



## 🔑 Définition

Il naît soit d'un réarrangement électronique après éjection d'un électron d'une couche orbitaire profonde d'un atome (RX de fluorescence), soit de la dissipation énergétique de l'interaction entre un flux d'électrons et les noyaux des atomes d'une cible (RX de freinage).

## 🔍 Remarque

Ils sont utilisés dans la médecine pour le diagnostic avec l'imagerie et dans la radiothérapie externe pour le traitement des cancers.

## 1. Rayonnement de fluorescence

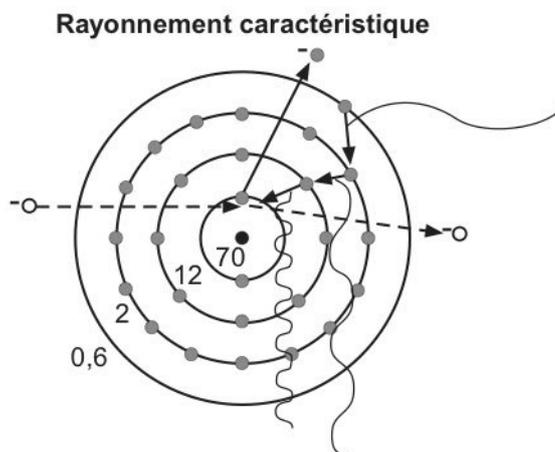
Le rayonnement X de fluorescence est dû à des collisions d'électrons incidents avec les électrons des orbites électroniques des atomes de la cible. Ces électrons, déplacés sur une orbite plus périphérique, restituent leur énergie lorsqu'ils regagnent cette orbite sous forme d'un rayonnement X. Chacune de ces transitions émet un rayonnement de fluorescence mono-énergétique sous forme d'une raie, l'ensemble des raies constituant un spectre caractéristique de l'élément cible. Ce rayonnement ne comporte que les valeurs discontinues d'énergie correspondant aux différentes transitions électroniques possibles. Les RX résultant d'une transition donnée

L'énergie des photons X émis est :

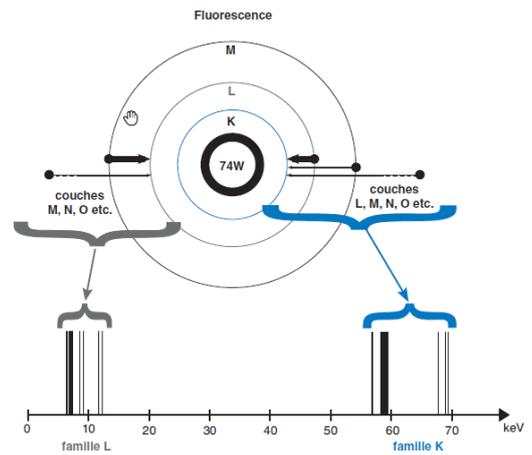
$$E_x (J) = E_n (\text{initial}) - E_n (\text{final}) = h \cdot c / \lambda.$$

$E_{n \text{ initial}}$  représente l'énergie de la couche où l'électron se trouve.

$E_{n \text{ final}}$  représente l'énergie de la couche où l'électron est arrivé



Le transfert d'un électron de couche périphérique à une couche plus centrale, dont un électron avait été éjecté, dégage, sous forme de photon, une énergie égale à la différence de niveau énergétique des deux couches. La répartition des différentes énergies photoniques émises par ce mécanisme est discontinue. C'est un spectre de raies, caractérisant l'élément cible à la manière d'un « code-barre ». Ici est représenté le spectre de raies simplifié du tungstène



*Le rayonnement de fluorescence est la restitution d'énergie qui se produit lors de la*

### ❖ Rappel : Rayon X du à la capture électronique

On peut avoir une production des rayons X dans le phénomène de la capture électronique. Lors de la désexcitation de l'atome par la transition d'un électron, qui va occuper la place de l'électron capturé.

Si l'électron de la couche K qui se fait capturer par le noyau de l'atome (CE de la couche K), sa place se comble par désexcitation d'un électron de la couche L ou M ou N ... vers la couche K en libérant un photon X d'énergie

$$E_x = E_{L, M, N, \dots} - E_K$$

Si l'électron de la couche L qui se fait capturer par le noyau de l'atome (CE de la couche L), sa place se comble par désexcitation d'un électron de la couche M ou N ou O ... vers la couche L en libérant un photon X d'énergie

$$E_x = E_{M, N, O, \dots} - E_L$$

## 2. Rayonnement de freinage

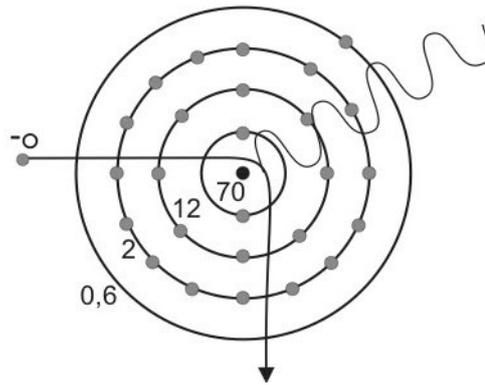
C'est le rayonnement émis par les électrons qui perdent de l'énergie lorsque leur trajectoire est modifiée par l'attraction coulombienne entre leur charge négative et la charge positive d'un noyau. Toutes les valeurs d'énergie sont possibles entre 0 (pas d'interaction) et l'énergie totale de l'électron incident (arrêt complet). Ce rayonnement est polychromatique et l'ensemble des énergies qui le constitue réalise un spectre continu.

L'énergie des photons X émis est :

$$E_x (J) = E_{c1} - E_{c2} = h \cdot c / \lambda$$

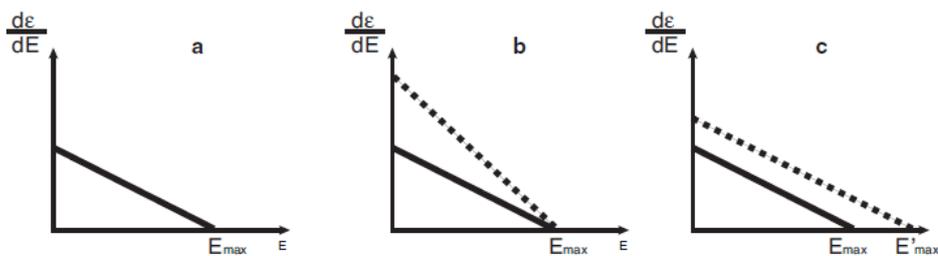
$$E_x (eV) = E_{c1} - E_{c2} = (h \cdot c) / (e \cdot \lambda)$$

## Rayonnement de freinage



### Complément : Spectre de RX de freinage

C'est la répartition de l'énergie transportée par le faisceau de RX en fonction de l'énergie des photons X. Le rayonnement de freinage, représenté par la surface du triangle délimité par la droite et les axes, est d'autant plus important que le nombre d'électrons arrivant sur la cible est plus élevé (donc lorsqu'on augmente l'intensité du flux d'électrons) et que le numéro atomique (Z) de l'atome cible est élevé. L'énergie maximale de ce rayonnement polyénergétique de freinage est d'autant plus grande



*La distribution spectrale d'un rayonnement exprime la répartition de l'énergie entre les*

Le nombre total de photons (intensité du faisceau) est représenté par l'aire sous la droite. Dans un faisceau de RX de freinage, beaucoup de photons peu énergétiques transportent la plus grande partie de l'énergie totale et la part d'énergie transportée diminue avec l'énergie des photons (a). Quand on augmente le nombre d'électrons incidents (c'est-à-dire la charge, exprimée en mAs), on augmente l'intensité du faisceau, dont l'énergie maximale ne varie pas (b). Quand le numéro atomique de l'élément cible augmente, le nombre de photons émis, pour un même nombre d'électrons incidents, augmente mais l'énergie maximale ne varie pas (même cas de figure b). Quand on augmente la tension (kV), le nombre et l'énergie des électrons incidents augmente. On augmente donc à la fois l'intensité du faisceau et son énergie maximale (c).

### Remarque

Il faut noter que l'augmentation de tension augmente non seulement l'énergie maximale du spectre, mais également le nombre total de photons (aire sous la droite).

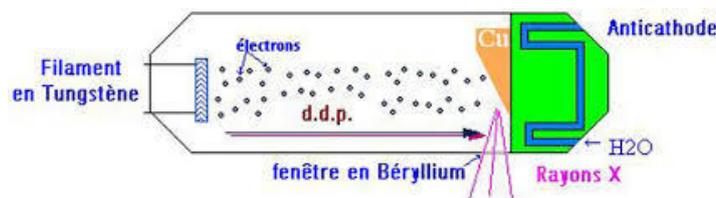
# Production des rayons X

II

## Tube à rayons X

Les électrons sont émis par un filament chauffé par effet Joule. Ils sont accélérés par la différence de potentiel appliquée entre l'anode et la cathode et interagissent avec les noyaux atomiques de l'anode en émettant le rayonnement X de freinage. Ils interagissent aussi avec les électrons des couches électroniques de l'élément cible ont les éjectons de l'atome et le réarrangement électronique produit donc un rayonnement X de fluorescence. Le spectre d'émission des rayons X résulte donc de la sommation du spectre continu du freinage et des raies caractéristiques de l'élément, il comporte une proportion plus importante de photons dont l'énergie est proche de celle des raies d'émission de fluorescence de l'élément cible.

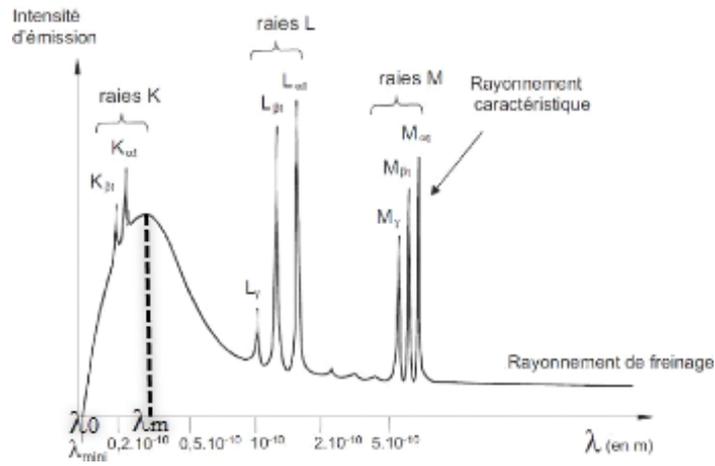
Quel que soit l'usage du tube une filtration en sortie de tube est obligatoire pour éliminer les RX de basse énergie qui seraient absorbés dans les premiers centimètres du patient, augmentant la dose sans contribuer à la formation de l'image. En radiologie conventionnelle, cette filtration obligatoire est de 2 mm d'aluminium. Selon les équipements, une filtration additionnelle est ajoutée en fonction des énergies sélectionnées par l'opérateur



## Complément

L'énergie maximale que peut atteindre les photons émis est l'énergie cinétique initiale  $E_0$  des électrons accélérés par la tension  $U$ ,  $E_0$  (eV) =  $e \cdot U$ . la longueur d'onde minimale  $\lambda_0$  correspondante :  $\lambda_0(nm) = (h \cdot c) / E_0$  (eV)  $\rightarrow \lambda_0(nm) = 1240 / U(V)$

La longueur d'onde  $\lambda_M$  qui aura une intensité d'émission plus grande que la longueur d'onde  $\lambda_0$  est donné par la formule :  $\lambda_M = 3 \cdot \lambda_0 / 2$



**Fondamental**

Le rendement  $R$  du tube a rayon X qui en réalité est toujours faible (de l'ordre de quelques % )

$$R = \text{puissance rayonnée} / \text{puissance totale}$$

$$\text{la puissance rayonnée } \Phi (W) = K \cdot Z \cdot I \cdot U^2$$

$$\text{la puissance totale } P (W) = U \cdot I$$

$$\text{la puissance dissipée} = P - \Phi$$

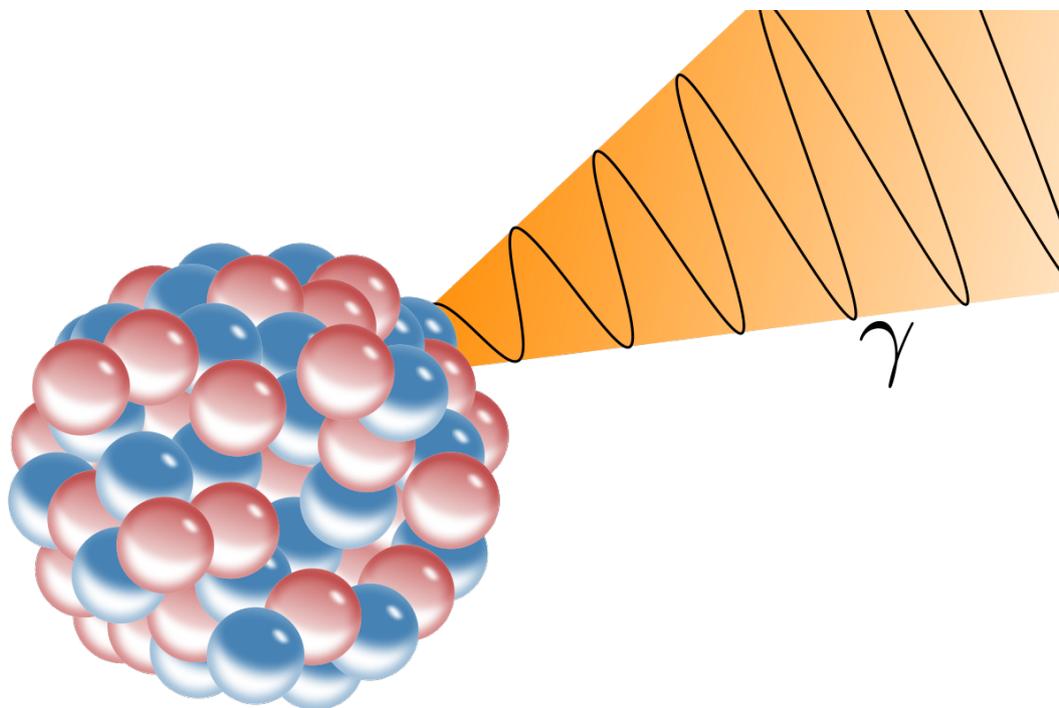
# Rayonnement gamma

III

## Définition

Les rayons « gamma » sont la "lumière des noyaux". Ils sont de même nature que les rayons X ou encore que la lumière émise par les atomes. L'énergie qu'ils transportent est beaucoup plus élevée : de quelques dizaines de milliers d'électronvolts à plusieurs million

leur origine ces les noyaux instable (après une désintégration:  $\alpha$ ,  $\beta^+$ ;  $\beta^-$ ...)



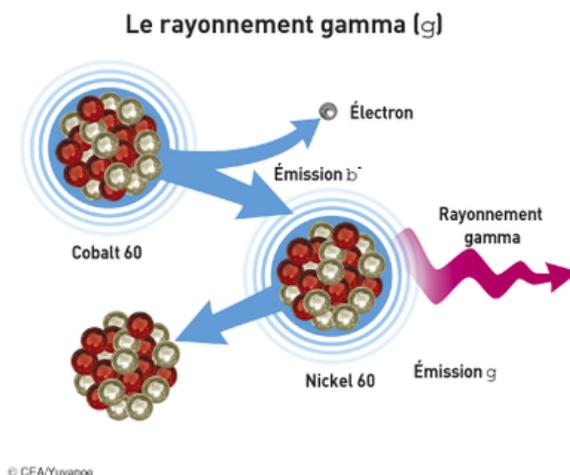
## Complément

Ils sont utilisés dans la médecine nucléaire pour le diagnostique avec l'imagerie fonctionnelle, c-a-d le fonctionnement de l'organe.

# Production des rayons gamma

## IV

L'émission d'un gamma accompagne une désintégration alpha - assez rarement - ou bêta - souvent - ou encore la capture d'un neutron par un noyau. Ces événements laissent généralement le noyau dans un état excité, c'est-à-dire avec un supplément d'énergie par rapport à son état naturel que les physiciens appellent « fondamental ». Le noyau perd alors cet excès d'énergie en une ou plusieurs étapes, émettant à chaque fois un « grain d'énergie électromagnétique », un photon gamma.



### Complément

Comme l'atome, le noyau possède des états d'énergie bien définis. Le saut d'un état d'énergie à un autre se fait en émettant un gamma d'énergie unique, caractéristique de la transition et du noyau. La mesure de l'énergie des photons gamma constitue ainsi un moyen d'identification de la nature du noyau émetteur.

### Remarque

Comme mode de désexcitation, l'émission d'un gamma est parfois remplacée par un processus où l'énergie est transférée à un des électrons qui circule autour du noyau et qui est alors éjecté. Ce processus est appelé "conversion interne". Dans la conversion interne, le gamma de désexcitation est absorbé par l'électron et n'apparaît pas.

◆ *Rappel : Réaction d'annihilation*

Dans la désintégration  $\beta^+$ , le positron libéré va s'annihiler avec un électron. Cette réaction donne naissance à deux photons  $\gamma$  de même énergie (chacun possède une énergie de 0.511 MeV) qui partent dans des directions opposées

