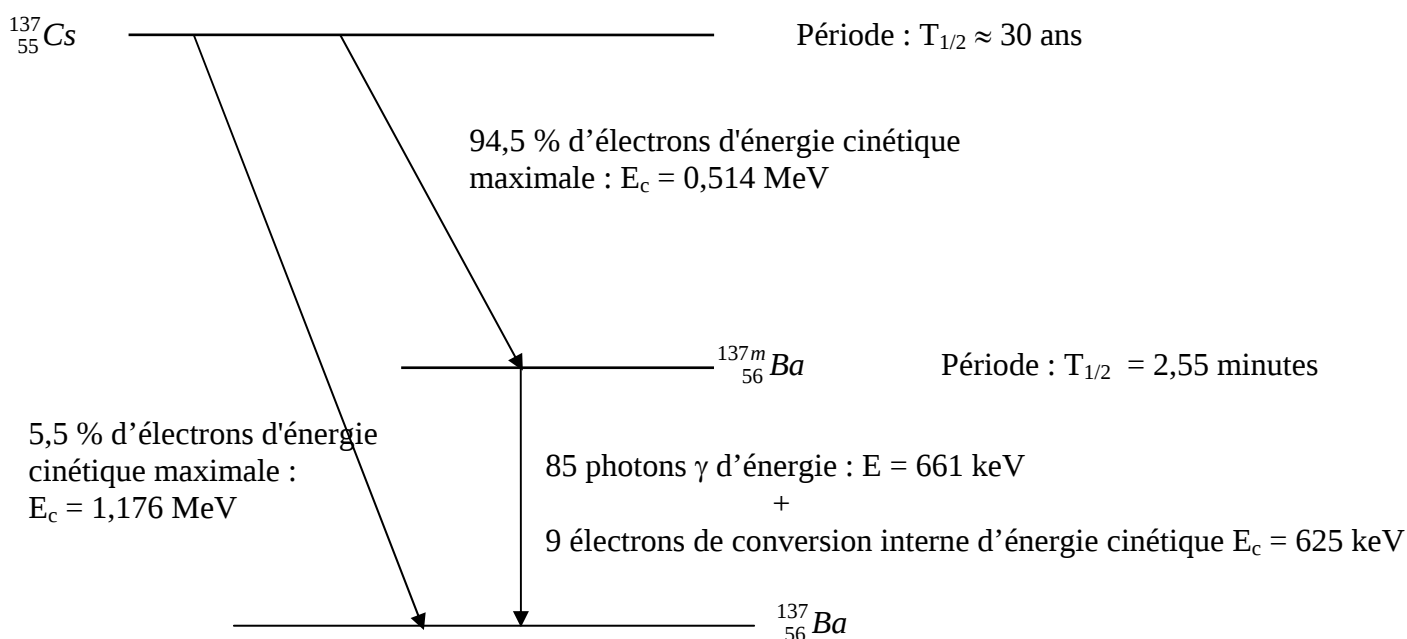


## Radioactivité

L'appareil **CRAB** comprend :

- une **source radioactive de césium 137**, de période  $T_{1/2} \approx 30$  ans, d'activité  $A_0 = 3,7 \cdot 10^5$  Bq en 1988, placée au centre d'un disque transparent en plastique. **Attention à son sens.**
- un **détecteur Geiger Muller** associé à un compteur enregistrant le nombre d'impulsions délivrées par le détecteur dont la fenêtre d'entrée a une surface :  $S \sim 1 \text{ cm}^2$ .
- un **compteur de temps** permettant de définir la durée du comptage.
- entre la source et le détecteur, on peut placer des **écrans** d'aluminium et/ou de plomb.

### Schéma de désintégration du césium 137



*Electrons de conversion interne (E.C) :* le noyau excité de  $^{137m}_{56}\text{Ba}$  cède son énergie à des électrons des couches profondes de l'atome (K ou L) qui sont ainsi expulsés. Ils ont pour énergie :

$$E = 661 - 37 \text{ (énergie de liaison des électrons du baryum sur la couche K)} = 624 \text{ keV}$$

$$\alpha_T = \text{nombre d'électrons de conversion / nombre de photons } \gamma \text{ émis} = 0,11$$

**Pour 100 désintégrations  $\beta^-$ , il y a émission de :**

- 85 photons  $\gamma$  d'énergie 661 keV
- 109 électrons,
- dont 9 électrons de conversion interne

**Ne pas confondre : désintégrations et nombre de coups détectés**

## 1) Caractère aléatoire du nombre de coups détectés par le compteur Geiger

La probabilité de désintégration d'un noyau pendant un temps  $dt$  est indépendante de son histoire et de son environnement.

Il est donc impossible d'étudier le comportement d'un noyau donné, mais l'ensemble constitué par un grand nombre de noyaux a un comportement qui obéit à une **loi statistique de Poisson**.

### a) Mesures

Placer la source à 6 cm du détecteur et interposer un écran de 1 mm d'aluminium.

Faire **100 comptages** (ou 200 comptages) de 1 seconde.

### b) Interprétation

Se placer dans le module Statistique du Logiciel Régressi.

Modifier le nombre d'intervalles de l'histogramme pour pouvoir connaître exactement le nombre de fois où la même valeur a été relevée.

Imprimer l'histogramme, la moyenne  $M$ , l'écart-type  $\sigma$  et la racine de la moyenne  $\sqrt{M}$ .

Si le comptage des désintégrations suit une **loi de Poisson**, il faut que :  $\sqrt{M} = \sigma$ . Est-ce vérifié ?

Compléter le tableau suivant :

| Intervalle                        | Nombre de mesures | Nombre de mesures si le comptage suit une statistique de Poisson |
|-----------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------|
| $[M - \sqrt{M} ; M + \sqrt{M}]$   |                   | 68 %                                                             |
| $[M - 2\sqrt{M} ; M + 2\sqrt{M}]$ |                   | 95 %                                                             |
| $[M - 3\sqrt{M} ; M + 3\sqrt{M}]$ |                   | 99 %                                                             |

Si vous aviez compté 400 coups, quel serait l'intervalle de confiance à 95 % ?

## 2) Absorption des électrons par des écrans d'aluminium

### a) Bruit de fond

Présélectionner un temps de comptage de 50 s.

Supprimer la source du devant du compteur; faire un comptage.

### b) Placer la source à 6 cm du compteur.

Présélectionner un temps de comptage de 50 s.

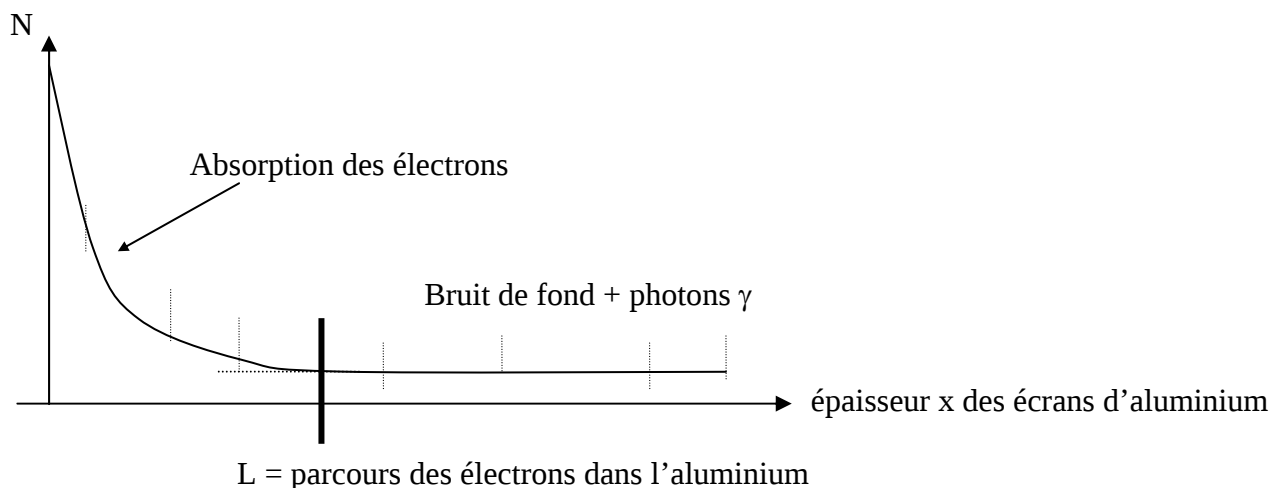
Faire un comptage sans écran, puis interposer des écrans d'aluminium (épaisseur en 1/10 mm) que l'on place dans le grand logement situé près du compteur.

Faire des mesures pour  $x$  variant de 0 à 1,5 mm.

### c) Interprétation

Quelle est l'importance relative du bruit de fond ? Faut-il en tenir compte pour toutes les mesures ?  
 Tracer :  $N = f(x)$ , où  $x$  est l'épaisseur des différents écrans d'aluminium, en traçant les barres d'incertitude :  $\Delta x = 0,1 \text{ mm}$  et  $\Delta N = 2 \sqrt{N}$ . Le tracé des barres d'incertitude permet de tenir compte du caractère aléatoire des mesures effectuées.

Cette courbe n'a pas d'équation particulière car les électrons ne sont pas monoénergétiques.



Déduire de la courbe tracée que l'aluminium absorbe les électrons mais n'atténue que très peu les rayons  $\gamma$  car l'aluminium a un numéro atomique  $Z$  faible.

Evaluer le parcours  $L$  des électrons dans l'aluminium, ainsi que leur parcours massique :  $P = \rho L$

Si le parcours massique  $P$  est indépendant du matériau, quel est le parcours  $L$  des électrons dans l'eau et dans l'air ?

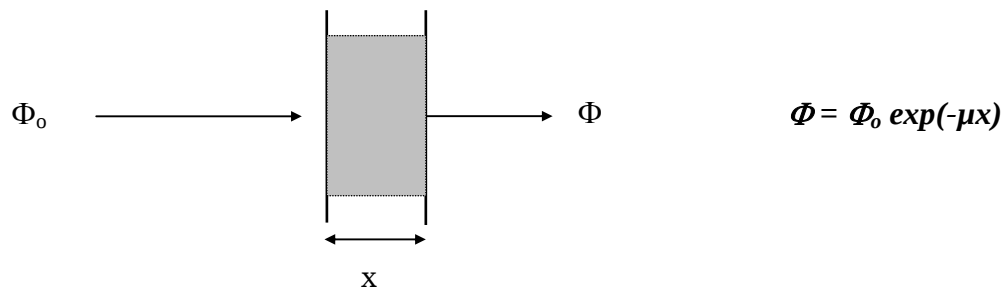
$$L_{\text{alu}} \rho_{\text{Al}} = L_{\text{eau}} \rho_{\text{eau}} = L_{\text{air}} \rho_{\text{air}}$$

| Matériau        | Aluminium                                  | Eau                                          | Air                                                        |
|-----------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Masse volumique | $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \text{ g.cm}^{-3}$ | $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ g.cm}^{-3}$ | $\rho_{\text{air}} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g.cm}^{-3}$ |
| Parcours $L$    |                                            |                                              |                                                            |

**Conclusion** : les électrons sont-ils plus dangereux en irradiation externe ou en irradiation interne ?

### 3) Atténuation des photons $\gamma$ de 661 keV par des écrans de plomb

En traversant un matériau d'épaisseur  $x$ , un rayonnement  $\gamma$  est atténué :



$\mu$  : coefficient linéaire d'atténuation qui dépend du matériau et de l'énergie du rayonnement  $\gamma$ .

**La couche de demi-atténuation :  $x_{1/2}$  ou CDA** est l'épaisseur nécessaire de matériau pour atténuer d'un facteur 2 l'intensité du rayonnement :  $x_{1/2} = \ln(2)/\mu$

#### a) Mesures

Interposer, entre la source et le compteur, un écran d'aluminium de 1mm : on peut alors considérer l'absorption des électrons comme totale.

Placer la source à 6 cm du compteur.

Présélectionner un temps de comptage de 50 s.

Faire un comptage sans écran de plomb, puis interposer entre la source et le détecteur des écrans de plomb de 1,5 mm d'épaisseur.

#### b) Interprétation

Tracer :  $N = f(x)$  où  $x$  est l'épaisseur des différents écrans de plomb.

Tracer les barres d'incertitude :  $\Delta x = 0,1 \text{ mm}$  et  $\Delta N = 2\sqrt{N}$

Déterminer l'équation de la courbe :  $N = f(x) = N_0 \exp(-\mu \cdot x)$

En déduire le coefficient d'absorption linéaire  $\mu$  et la couche de demi-atténuation :  $x_{1/2} = \ln(2)/\mu$

Reporter  $x_{1/2}$  sur la courbe précédente. La valeur trouvée est-elle logique ?

Déterminer le coefficient d'atténuation massique ( $\mu/\rho$ ) ;  $\rho_{\text{Pb}} = 11,3 \text{ g.cm}^{-3}$

- Attention aux unités.

En considérant que le coefficient d'atténuation massique ( $\mu/\rho$ ) est constant pour des photons  $\gamma$  d'énergie donnée, déterminer la CDA des photons  $\gamma$  dans l'eau et dans l'air.

$$x_{1/2 \text{ plomb}} \rho_{\text{plomb}} = x_{1/2 \text{ eau}} \rho_{\text{eau}} = x_{1/2 \text{ air}} \rho_{\text{air}}$$

| Matériau        | Plomb                                       | Eau                                          | Air                                                        |
|-----------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Masse volumique | $\rho_{\text{Pb}} = 11,3 \text{ g.cm}^{-3}$ | $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ g.cm}^{-3}$ | $\rho_{\text{air}} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g.cm}^{-3}$ |
| $x_{1/2}$       |                                             |                                              |                                                            |

**Conclusion :** Les photons  $\gamma$  traversent-ils facilement le corps humain ?

#### 4) Isotropie : variation du taux de comptage en fonction de la distance R : source-détecteur

La source rayonne de façon isotrope dans un angle de  $4\pi$  stéradians.

- *Que signifie : de façon isotrope ?*

A une distance R de la source, le rayonnement se répartit sur une sphère de surface :  $S = 4\pi R^2$

##### a) Mesures

Ne garder que l'écran d'aluminium qui arrête les électrons.

Le nombre de coups détectés par le compteur est noté N.

Faire varier la distance R source-détecteur ; faire pour chaque distance 2 ou 3 comptages pendant un temps :  $t = 50$  s

- *Pourquoi le nombre de coups détectés à une distance donnée n'est-il pas toujours le même ?*

##### b) Interprétation

Tracer :  $N = f(R)$  ; proposez un modèle de la forme :  $N = a/R^2 + b$

- Pourquoi peut-on logiquement proposer ce modèle ?
- b devrait être nul, mais ne l'est peut-être pas en pratique. Quelle explication peut-on donner ?

#### 5) Rendement global du détecteur pour les photons $\gamma$ de 661 keV si la distance source - détecteur est : R = 6 cm

Quelle est l'activité A de la source aujourd'hui, sachant que :  $A_0 = 3,7 \cdot 10^5$  Bq en 1988 ?  
 $T_{1/2} \approx 30$  ans

Pour 100 désintégrations  $\beta^-$ , il n'y a que 85 photons  $\gamma$  émis.

- Quel est le nombre n de photons émis par la source en 1 seconde :  $n = 0,85 * A_{\text{activité}}$
- Quel est le nombre :  $n' = N/t$  de photons détectés en 1 seconde si R = 6 cm ?
- En déduire le rendement global :  $\eta_g = n'/n$

#### 6) Rendement de détection du détecteur pour les photons $\gamma$ de 661 keV si la distance source - détecteur est : R = 6 cm

Le détecteur reçoit :  $n_1 = A_{\text{activité}} * 0,85 * (\text{Surface du détecteur}/4\pi R^2)$  photons par seconde.

Surface du détecteur =  $1 \text{ cm}^2$

Seuls n' photons sont détectés.

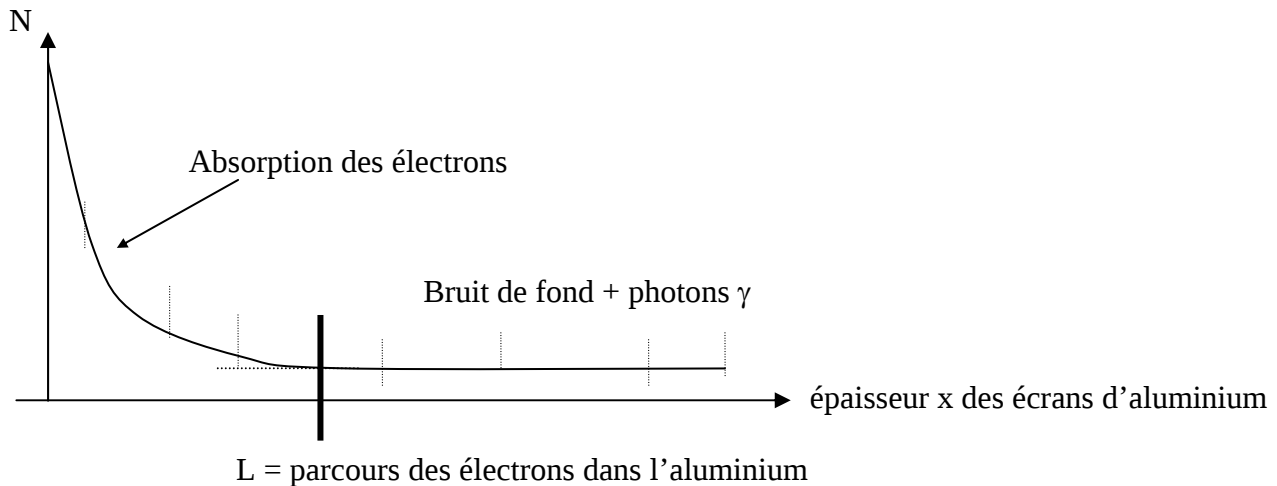
- Déterminer le rendement de détection :  $\eta = n'/n_1$   
 $\eta$  est très faible, de l'ordre de quelques %. Pourquoi ?
- Justifier votre réponse en rappelant le principe du détecteur Geiger Muller.

## Radioactivité - Résultats

Les valeurs données ne sont que des ordres de grandeur.

### Absorption des électrons par des écrans d'aluminium

Cette courbe n'a pas d'équation particulière.



| Matériau        | Aluminium                                  | Eau                                          | Air                                                        |
|-----------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Masse volumique | $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \text{ g.cm}^{-3}$ | $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ g.cm}^{-3}$ | $\rho_{\text{air}} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g.cm}^{-3}$ |
| Parcours L      | 0,6 mm                                     | 1,5 mm                                       | 1,25 m                                                     |

### Atténuation des photons $\gamma$ de 661 keV par des écrans de plomb

$$\Phi = \Phi_0 \exp(-\mu x)$$

La **couche de demi-atténuation** :  $x_{1/2}$  ou **CDA** est l'épaisseur nécessaire de matériau pour atténuer d'un facteur 2 l'intensité du rayonnement :  $x_{1/2} = \ln(2)/\mu$

$$(\mu/\rho) = \text{constant}$$

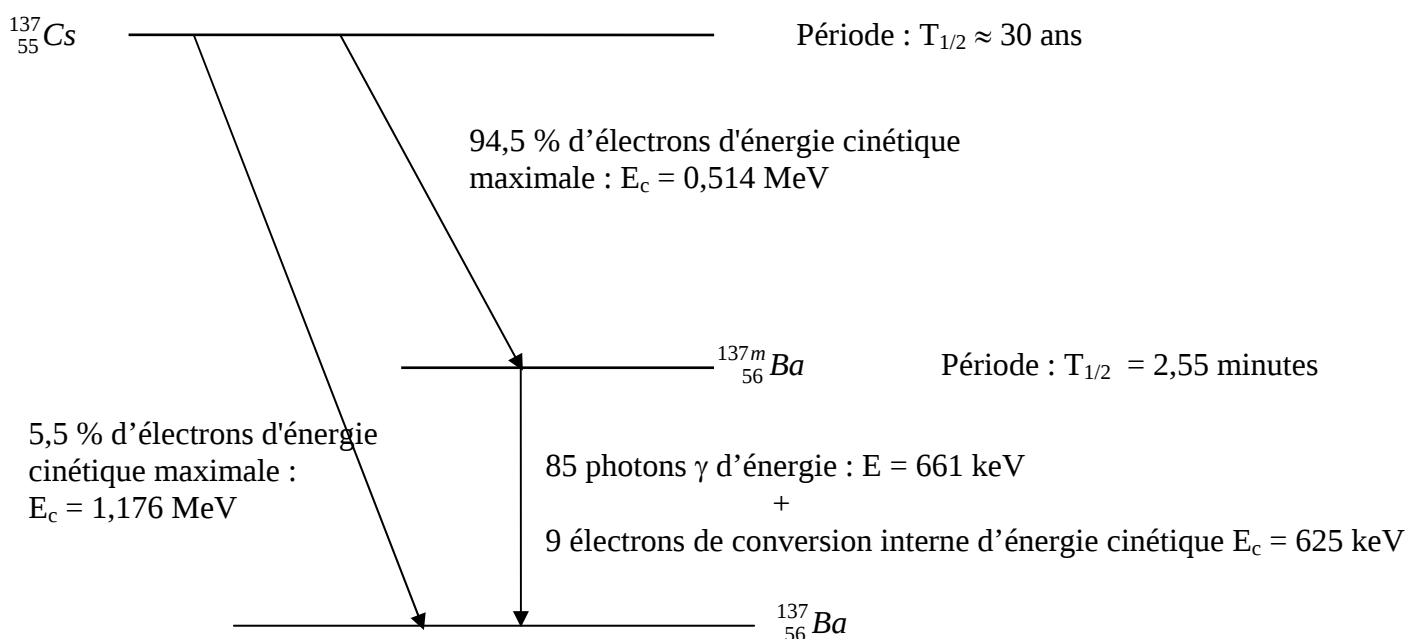
| Matériau        | Plomb                                       | Eau                                          | Air                                                        |
|-----------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Masse volumique | $\rho_{\text{Pb}} = 11,3 \text{ g.cm}^{-3}$ | $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ g.cm}^{-3}$ | $\rho_{\text{air}} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ g.cm}^{-3}$ |
| $x_{1/2}$       | 6 mm                                        | 5 cm                                         | 75 m                                                       |

## Radioactivité

L'appareil **CRAB** comprend :

- une **source radioactive de césium 137**, de période  $T_{1/2} \approx 30$  ans, d'activité  $A_0 = 3,7 \cdot 10^5$  Bq en 1988, placée au centre d'un disque transparent en plastique. **Attention à son sens.**
- un **détecteur Geiger Muller** associé à un compteur enregistrant le nombre d'impulsions délivrées par le détecteur dont la fenêtre d'entrée a une surface :  $S \sim 1 \text{ cm}^2$ .
- un **compteur de temps** permettant de définir la durée du comptage.
- entre la source et le détecteur, on peut placer des **écrans** d'aluminium et/ou de plomb.

### Schéma de désintégration du césium 137



Activité de la source :  $A_0 = 3,7 \cdot 10^5$  Bq en 1988