

# RadioProtection Cirkus

## Protection contre l'exposition externe

Nom de l'auteur : Marc AMMERICH

N° chrono : DOC-FO-6\_3

Version du : 28 mars 2018

Le portail de la RP pratique et opérationnelle  
[www.rpcirkus.org](http://www.rpcirkus.org) - [www.forum-rpcirkus.com](http://www.forum-rpcirkus.com)

# PROTECTION CONTRE L'EXPOSITION EXTERNE

- Exposition
- Dose absorbée - débit de dose absorbée
- Moyens de protection

*Réduction du temps d'exposition*

*Réduction du débit de dose*

*Distance  $X$  et  $\gamma$  -  $\beta$*

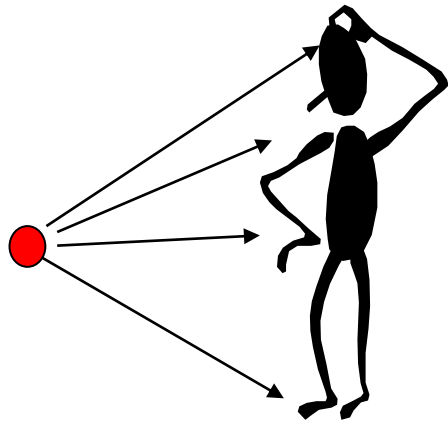
*Écrans  $X$  et  $\gamma$  -  $\beta$  - neutrons*



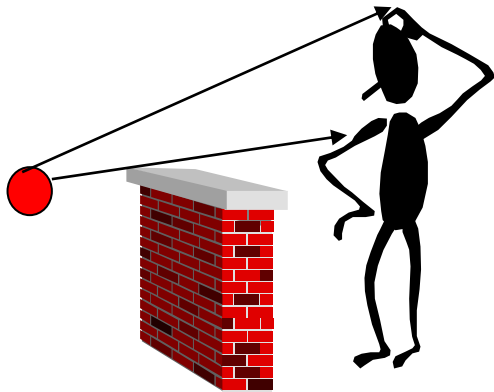
# EXPOSITION

## DÉFINITIONS

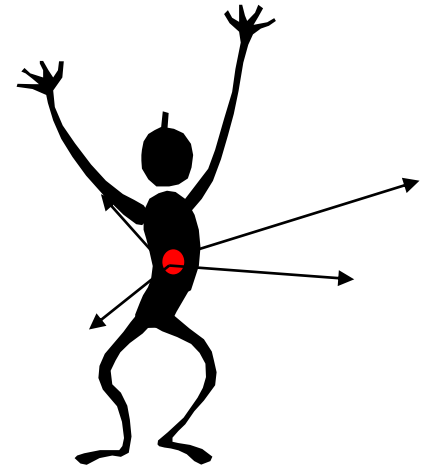
**EXTERNE**



**PARTIELLE**



**INTERNE**



**GLOBALE**

Organisme  
entier

Origine :  $\gamma$  , X, neutron

**TOTALE**

externe  
+ interne



# D DOSE ABSORBÉE

## ➤ ENERGIE CEDEE A LA MATIERE

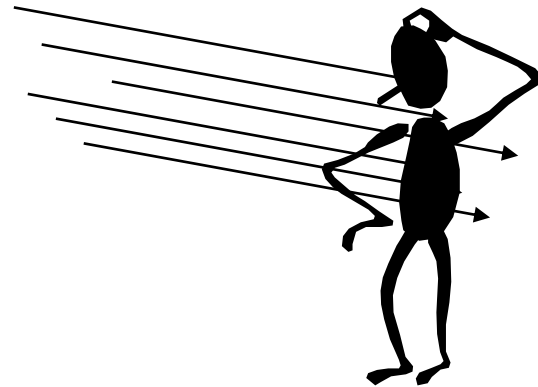
Des rayonnements ionisants qui cèdent une énergie de 1 Joule dans 1 kilogramme de matière délivrent une dose de 1 Gray

Unité : le Gray

1 Gy = 1 J/kg



Louis Harold Gray



C'est une grandeur mesurable



# ° D DÉBIT DE DOSE ABSORBÉE

## ➤ ÉNERGIE CÉDÉE A LA MATIÈRE PAR UNITÉ DE TEMPS

Unité légale : le Gray par seconde (pas pratique)

Très peu de sources radioactives ou de générateurs de rayonnements ont un tel débit de dose absorbée.

On utilise : mGy/h ou  $\mu$ Gy/h

°

Si D est constant :

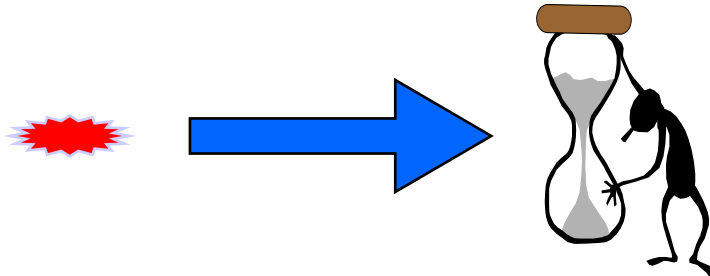
$$\overset{\circ}{D} = D \times t$$



# MOYENS DE PROTECTION

Pour diminuer la dose absorbée

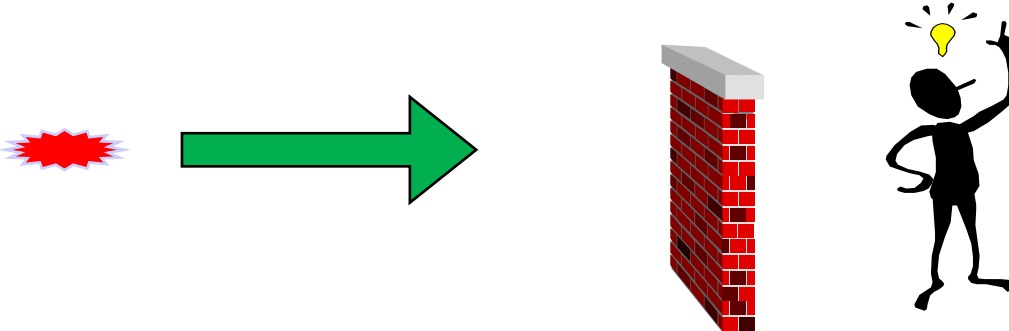
Temps



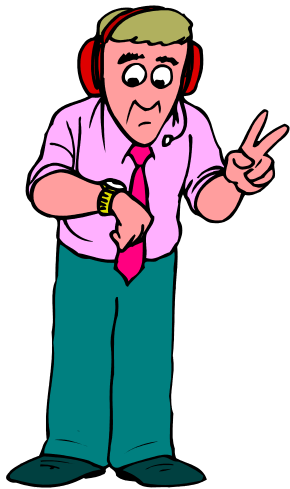
Distance



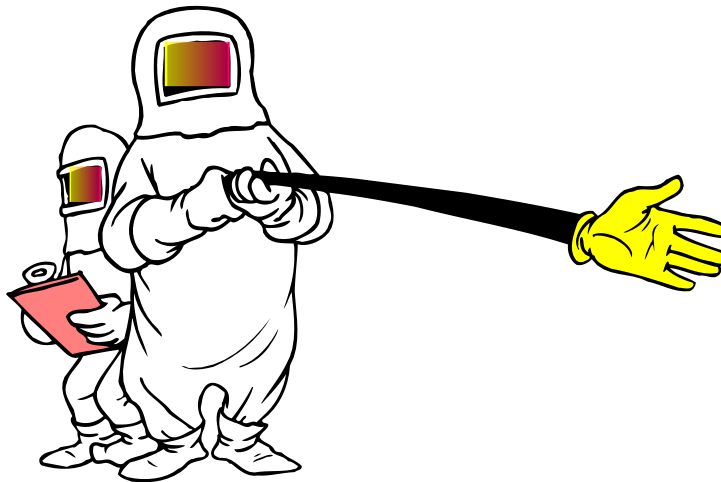
Ecran



# MOYENS DE PROTECTION



**TEMPS**



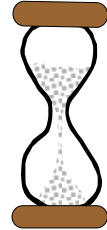
**DISTANCE**



**ECRAN**

# MOYENS DE PROTECTION $\beta$ ET $\gamma$

## Actions sur la durée (temps d'exposition)



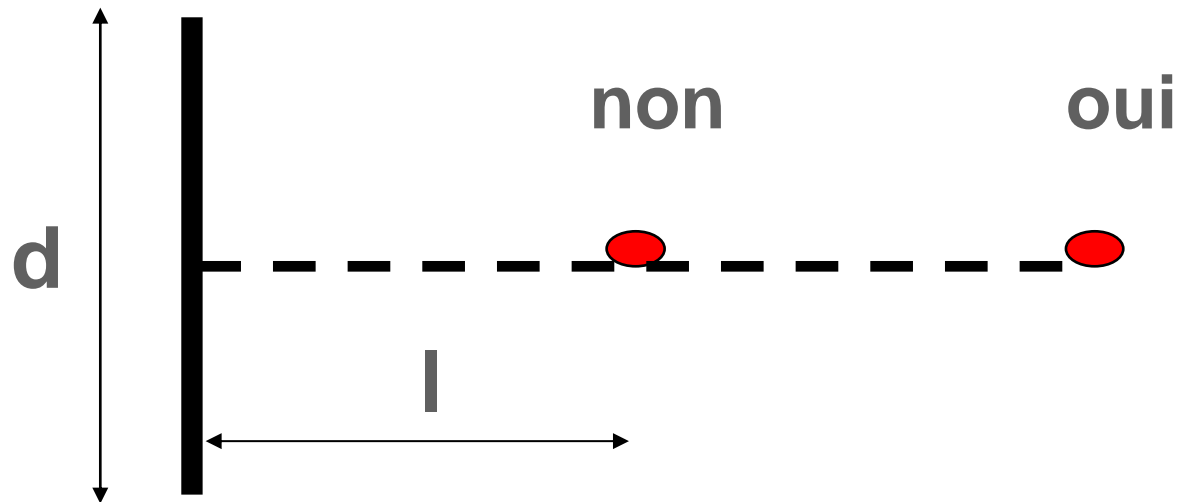
- Conception des installations
- Étude de poste
- Préparation de l'opération
- Savoir faire / entraînement / formation
- Outillage adéquat et performant
- Système à montage /démontage rapide
- **Partage de la dose** (principe d'équité)
- Tirer les leçons des interventions précédentes: REX
- etc..





# MOYENS DE PROTECTION $\beta$ ET $\gamma$

Distance

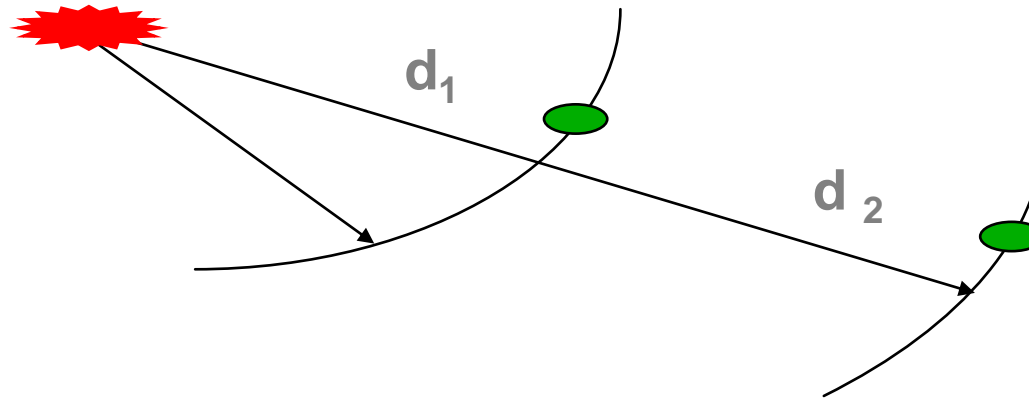


Une source est dite Ponctuelle si  $l = 2 d$

Idéalement,  $l = 5 d$

# MOYENS DE PROTECTION $\gamma$

## Distance



$$n_{\gamma} = \phi_1 \times 4 \Pi \times (d_1)^2 = \phi_2 \times 4 \Pi \times (d_2)^2$$

0

$\phi$  : débit de fluence (*proportionnel à l'activité*)

$n_{\gamma}$  : correspond au taux d'émission



# MOYENS DE PROTECTION $\gamma$

## Distance

Le débit de dose étant proportionnel au débit de fluence

$$\frac{\dot{D}_1}{\dot{D}_2} = \frac{\dot{\Phi}_1}{\dot{\Phi}_2} = \frac{(d_2)^2}{(d_1)^2}$$

Ce qui revient à écrire

$$\dot{D}_1 \cdot (d_1)^2 = \dot{D}_2 \cdot (d_2)^2$$



# MOYENS DE PROTECTION $\gamma$

## Distance

Le débit de dose absorbée à 1 mètre d'une source ponctuelle est donné par la formule empirique

$$\overset{0}{D} = 1,3 \cdot 10^{-10} \times A \times E \times I / 100$$

Où :

- $\overset{0}{D}$  est en mGy/h
- A est en becquerel
- E est en MeV
- I est en %

Formule simplifiée issue de cours de dosimétrie pratique



# MOYENS DE PROTECTION $\gamma$

## Distance

Exercice résolu (diapo suivante) :

Quelle est la valeur du débit de dose dans l'air en mGy/h à 1 mètre d'une source ponctuelle de césium-137 ayant une activité égale à 1 GBq ? Quelle serait la valeur à 50 centimètres ?

Données:  $E = 662 \text{ keV}$

Intensité d'émission = 85,2 %

On utilise la formule

$$\dot{D} = 1,3 \cdot 10^{-10} \times A \times E \times I/100$$



# MOYENS DE PROTECTION $\gamma$

## Distance

On utilise la formule

$$D = 1,3 \cdot 10^{-10} \times A \times E \times I / 100$$

$$D = 1,3 \cdot 10^{-10} \times 10^9 \times 0,662 \times 85,2 / 100 = 0,073 \text{ mGy/h}$$

Soit 73  $\mu\text{Gy/h}$

Si on veut la valeur à 50 centimètres de la source, il faut appliquer la loi de l'inverse du carré de la distance.

On se rapproche alors d'un facteur 2, ce qui fait que le débit de dose augmente d'un facteur **4**, soit **292  $\mu\text{Gy/h}$** .



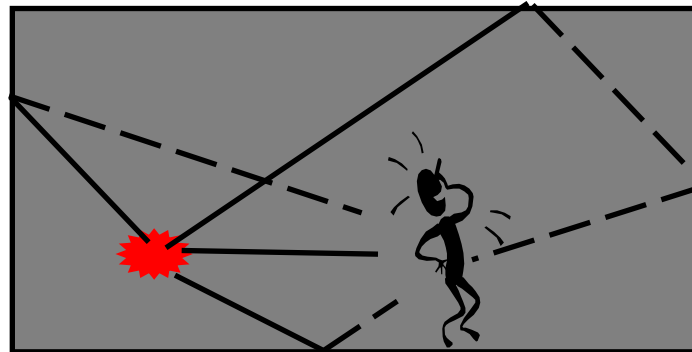
# MOYENS DE PROTECTION $\beta$ ET $\gamma$

## Cas général

On ne considère plus seulement les sources ponctuelles. La loi en  $1/d^2$  n'est plus forcément applicable

On a négligé le rayonnement diffusé (de la source mais aussi des interactions avec les parois).

**Le débit de dose est supérieur**



# MOYENS DE PROTECTION $\beta$

## En ce qui concerne le rayonnement bêta (les électrons)

La loi en  $1/d^2$  s'applique d'un point de vue formalisme mathématique et physique en tous cas.

Mais il se trouve que les électrons ont des interactions plus fréquentes que les rayonnements électromagnétiques dans l'air.

Il y a donc une atténuation plus importante des particules incidentes, ce qui fait que l'on n'observe pas cette variation du point de vue strictement mathématique.





# MOYENS DE PROTECTION $\beta$

La loi en  $1/d^2$  n'est alors plus applicable.

Le débit de dose absorbée à 10 cm d'une source ponctuelle (pour une énergie bêta maximum supérieure à 300 keV) est donné par la formule empirique :

$$\dot{D} = 9.10^{-7} \cdot A \cdot I/100$$

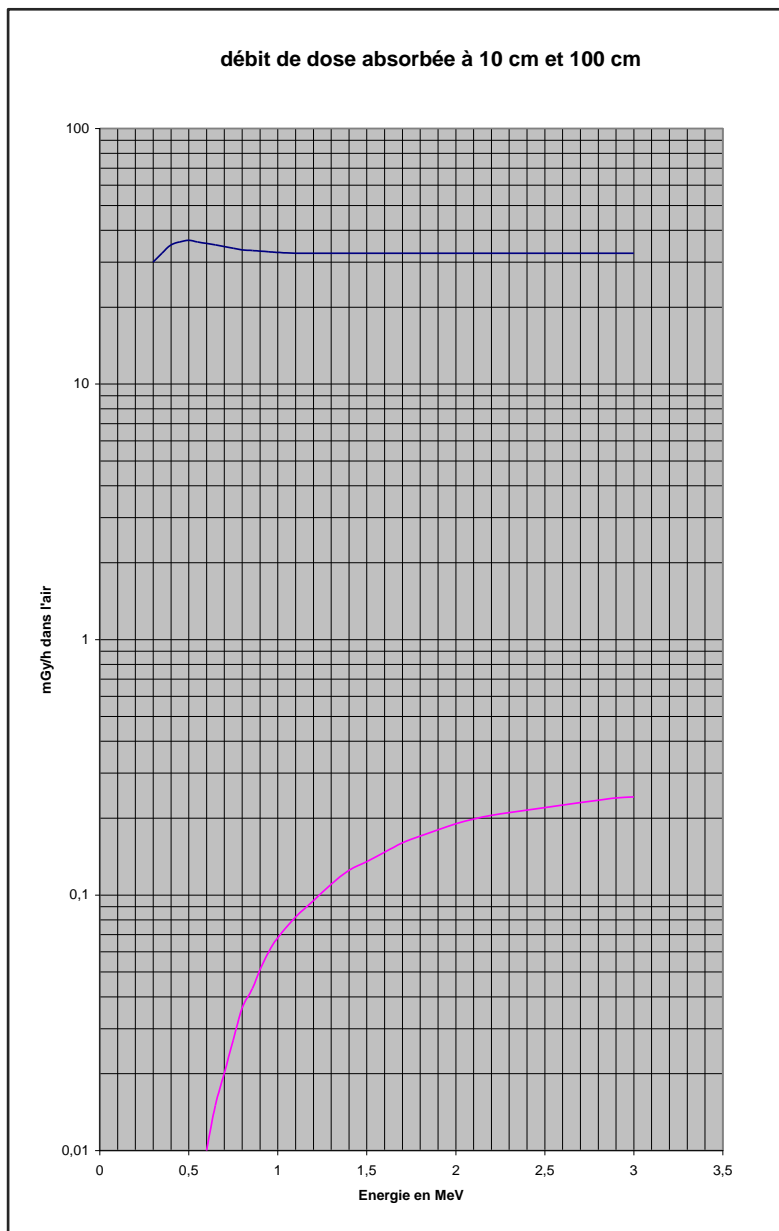
Où:

- $\dot{D}$  est en mGy/h,
- A est en becquerel, I est en %

Les courbes données ci-après donne la valeur du débit de dose à 1 m et à 10 cm



# MOYENS DE PROTECTION $\beta$



# MOYENS DE PROTECTION $\beta$ ET $\gamma$

Calcul du débit de dose dû aux bêta et aux gamma à énergie égale et activité égale à 10 cm pour une **source ponctuelle**

$$A = 0,1 \text{ MBq} \quad E_{\beta\text{max}} = 1 \text{ MeV} \quad I_{\beta} = 100 \% \\ E_{\gamma} = 1 \text{ MeV} \quad I_{\gamma} = 100 \%$$

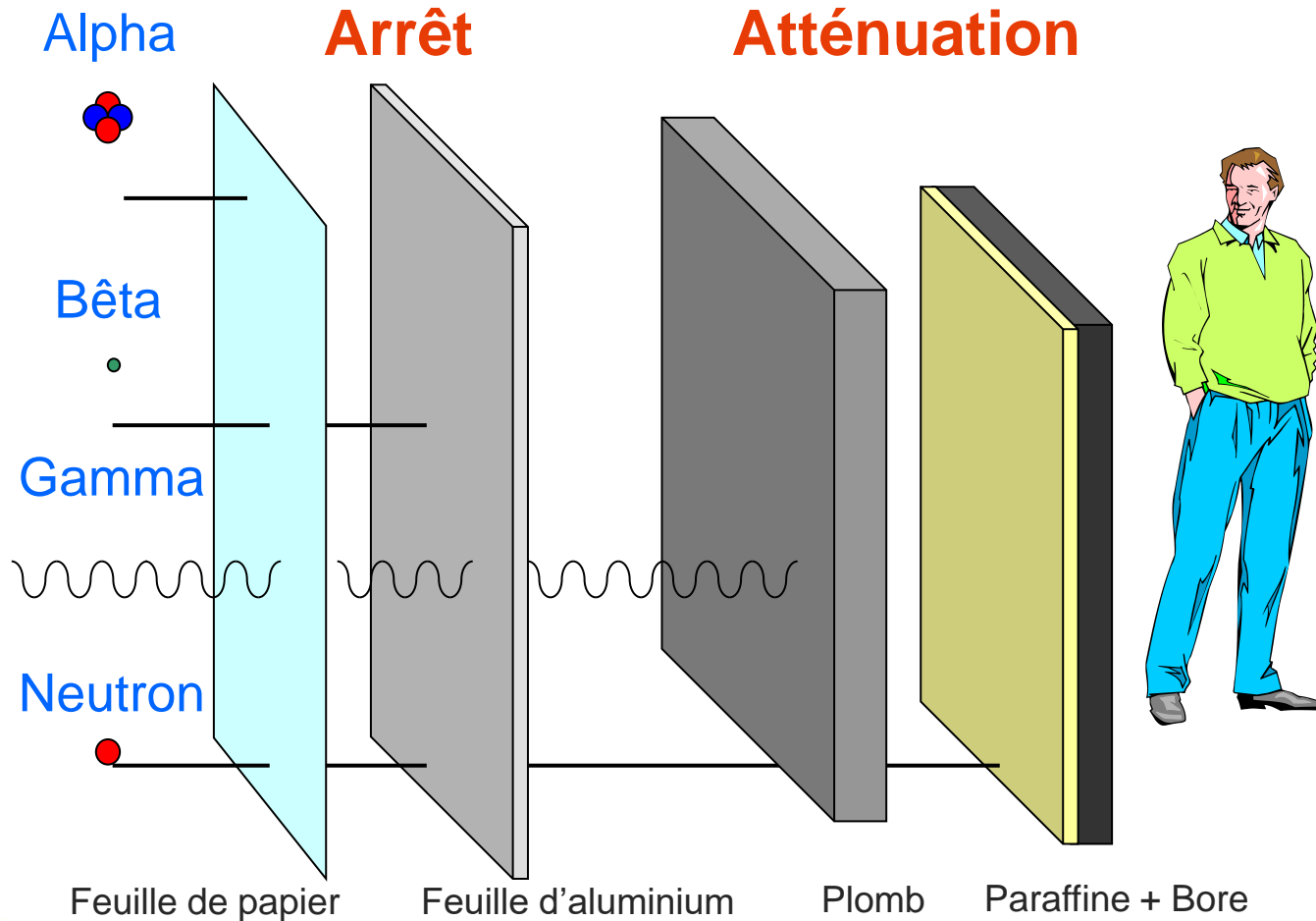
$$\dot{D}_{\beta} = 90 \text{ } \mu\text{Gy/h}$$

$$\dot{D}_{\gamma} = 1,3 \text{ } \mu\text{Gy/h}$$

A proximité de la source la dose bêta est **70 fois** supérieure à la dose gamma.



# MOYENS DE PROTECTION : LES ECRANS

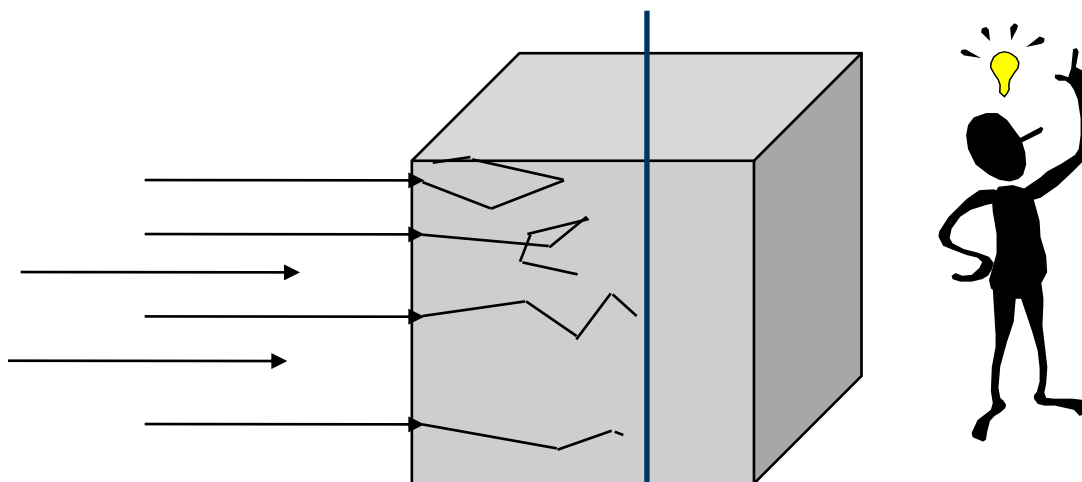


# PROTECTION CONTRE LES $\beta$

## Écrans

Les particules  $\beta$  sont stoppées par la matière

**1 cm de plexiglas arrête  
tous les  $\beta$  d'énergie < 2 MeV**



# PROTECTION CONTRE LES $\beta$

## Écrans

### Spécificité des particules $\beta^-$

- Rayonnement de freinage
- Nature de l'écran
- Énergie du  $\beta$
- Activité

### Spécificité des particules $\beta^+$

La particule  $\beta^+$  s'associe avec une particule  $\beta^-$  du milieu : s'en suit un **phénomène d'annihilation, ou dématérialisation** - production de 2 rayonnements électromagnétiques de 511 keV émis à  $180^\circ$  .

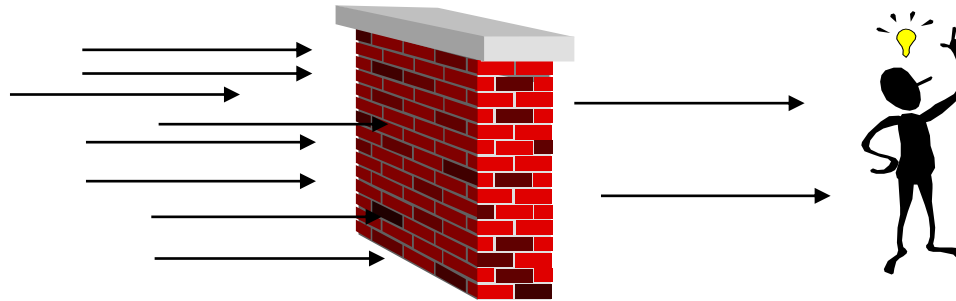
Pour atteindre les cellules vivantes de la peau :

$$E_{\beta\max} > 100 \text{ keV}$$



# PROTECTION CONTRE LES $\gamma$

Écrans



Le rayonnement  $\gamma$  est atténué par la matière

$$\dot{D} = \dot{D}_0 \times e^{-\mu x}$$

Où  $\mu$  est le coefficient d'atténuation linéique du milieu traversé  
La nature de l'écran sélectionné est fonction :

- Efficacité
- Coût
- Construction



# PROTECTION CONTRE LES $\gamma$

## Écran

Exercice résolu (voir diapositive suivante) :

Reprenons la source ponctuelle de césium-137 précédente.

On place un écran de plomb de 2 cm d'épaisseur.

Le coefficient d'atténuation massique pour l'énergie de 662 keV est égal à :  
0,11 cm<sup>2</sup>/g

La masse volumique du plomb retenue est de 10,8 g/cm<sup>3</sup>

Quel est le débit de dose à 50 cm de la source avec la mise en place de l'écran de plomb ?

On utilise la formule

$$D = D_0 \times e^{-\mu x}$$





# PROTECTION CONTRE LES $\gamma$

## Écran

On utilise la formule

$$\dot{D} = \dot{D}_0 \times e^{-\mu x}$$

$$\mu = 0,11 \times 10,8 = 1,19 \text{ cm}^{-1}$$

$$\dot{D} = 292 \times e^{-1,19 \times 2} = 292 \times 0,0926 = 27 \text{ } \mu\text{Gy/h}$$



# PROTECTION CONTRE LES $\gamma$

## Écran

Épaisseur moitié      Épaisseur dixième  
valeurs théoriques pour des rayonnements avant et après l'écran

$$X_{1/2} = \frac{\text{Ln}2}{\mu} \qquad X_{1/10} = \frac{\text{Ln}10}{\mu}$$

Une épaisseur 1/10 et trois épaisseurs 1/2 atténuent d'un facteur 80

$\mu$  est fonction de l'énergie du rayonnement et du matériau



# PROTECTION CONTRE LES $\gamma$

## Écran

Cas général

$$\overset{0}{D} = D_0 \times B_D \times e^{-\mu x}$$

La loi d'atténuation ne prend en compte que le rayonnement **arrêté** par l'écran. Afin de prendre en compte le rayonnement **diffusé** (traversant l'écran en y ayant interagi en perdant de l'énergie), il faut intégrer dans la formule, le **facteur d'augmentation en dose** (Build up).

Ce facteur est important pour les matériaux légers dû à la prépondérance de l'effet Compton.



# PROTECTION CONTRE LES NEUTRONS

## Écran

La protection contre les neutrons par arrêt direct n'est pas réalisable. Elle est décomposée en deux mécanismes successifs:

**Ralentissement** : Matériaux hydrogénés

**Absorption** : Cadmium, Bore

**Attention** : l'absorption par les matériaux neutrophages entraîne la production de  $\gamma$  secondaires qui contribuent à la dose.

Même comportement que les gamma :  
atténuation exponentielle.





# POUR RÉSUMER



Exposition globale ou partielle - externe et/ou interne

Dose absorbée : **GRAY**

Protection : TEMPS - DISTANCE - ECRAN

Débit de dose proportionnel à l'activité

**à proximité des sources** : importance de la dose bêta

**à distance des sources** : importance des doses gamma  
et neutrons

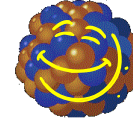
Écrans adaptés aux rayonnements gamma

photons : atténuation fonction du matériau et de l'énergie  
effet Compton → rayonnements diffusés





# POUR RÉSUMER



## La nature des écrans doit être adaptée aux rayonnements bêta :

- électrons : arrêt avec 1 cm de plexiglas
- cas particulier des bêta plus

## Protection contre les neutrons :

- ralentissement
- absorption
- attention aux rayonnements secondaires

