

PROTECTION CONTRE LES EXPOSITIONS AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

1 – PROTECTION CONTRE L'EXPOSITION EXTERNE

- ✓ Principes et réduction du temps d'exposition
- ✓ Variation du débit de dose avec la distance
- ✓ Protection par écrans

2 – PROTECTION CONTRE L'EXPOSITION INTERNE

- ✓ Protection collective
- ✓ Protection individuelle
- ✓ Conduites à tenir en cas d'incident
- ✓ Moyens d'évaluation

Définition de la Radioprotection

La radioprotection est définie de la manière suivante :

"La radioprotection *est la protection contre les rayonnements ionisants, c'est-à-dire **l'ensemble des règles, des procédures et des moyens** de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes, directement ou indirectement, y compris par les atteintes à l'environnement."*

La radioprotection est donc :

- ✓ un ensemble de bases scientifiques qui décrivent le risque et les moyens matériels de s'en protéger,
- ✓ des principes généraux fixant les objectifs et les moyens d'y parvenir,
- ✓ une organisation et une réglementation qui imposent le niveau de protection à atteindre et les dispositions nécessaires pour y parvenir.

Sources des RI

On distingue :

- ❖ **Des sources naturelles** (telluriques, atmosphériques, cosmogéniques, internes),
- ❖ **Des sources médicales** (diagnostic ou thérapie, d'origine électrique ou radioactive),
- ❖ **Des sources industrielles** (radiographie, métrologie, sources scellées ou non, irradiateurs...),
- ❖ **Des sources liées à l'industrie nucléaire** (réacteurs, cycle du combustible...),
- ❖ **Des déchets et produits de démantèlement.**

EXPOSITION AUX RI

1 - EXPOSITION EXTERNE

- ✓ Rayonnements α , β , γ et X
- ✓ Neutrons

2 – EXPOSITION INTERNE

- ✓ Causes d'exposition

Protection contre l'exposition externe

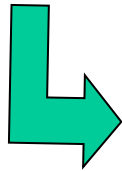
Principe de protection

✓ Débit de dose et temps d'exposition \Rightarrow Dose absorbée

$$D = \dot{D} t = \alpha F = \frac{k}{d^2}$$

✓ Paramètres pour **minimiser** les effets de doses :

- Réduire la fluence (distance)
- Interposer des écrans de protection
- Réduire le temps d'exposition



Préparation soigneuse des interventions

- ❖ travail par des personnes compétentes
- ❖ mise en œuvre d'appareillage adéquat et performant
- ❖ coordination des interventions
- ❖ expérimentation à des essais à blanc

Protection par les écrans

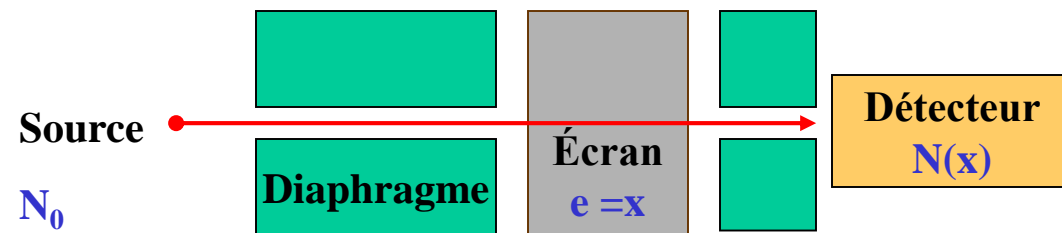
✓ Variation du débit de dose avec la distance

$$N(d) = N_0 \frac{\Omega}{4\pi} = \frac{k}{d^2} \quad \longrightarrow \quad \dot{D}_2 = \dot{D}_1 \frac{d_1^2}{d_2^2}$$

le débit de dose est divisé par n^2 si la distance est multipliée par n

✓ Absorption des photons

➤ Géométrie parfaite



$$N(x) = N_0 e^{-\mu x}$$



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

Caractéristiques de la dosimétrie photons

✓ **Épaisseur moitié** : atténuation d'un facteur 2

$$x_{\frac{1}{2}} = \frac{0,693}{\mu}$$

✓ **Épaisseur dixième** : atténuation d'un facteur 10

$$x_{\frac{1}{10}} = \frac{\ln 10}{\mu}$$



$$x_{\frac{1}{2}} = 0,3 x_{\frac{1}{10}}$$

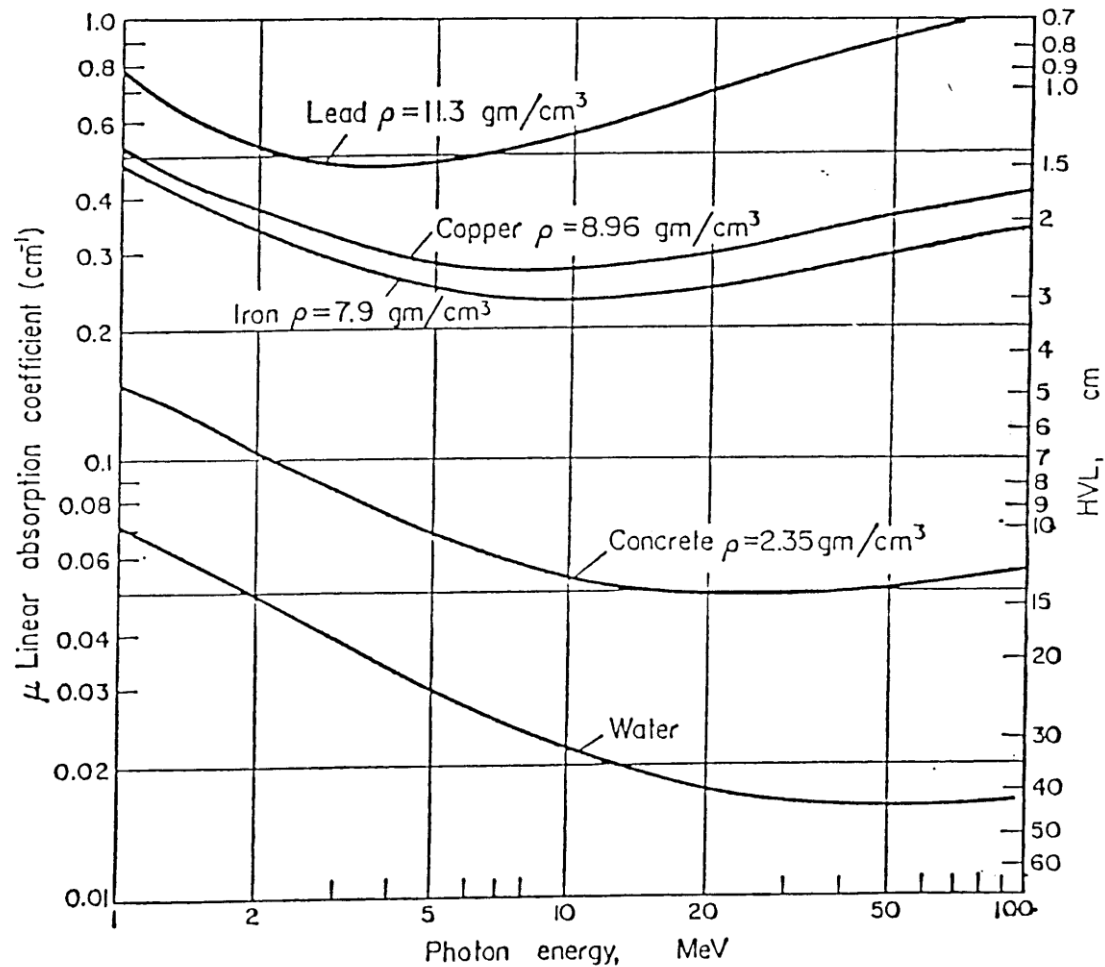
Épaisseur moitié (cm)

| E (MeV) | Eau d = 1 | Béton d = 2,3 | Fer d = 7,9 | Plomb d = 11,3 |
|------------|--------------|------------------|----------------|-------------------|
| 0,5 | 6,6 | 3,5 | 1,2 | 0,42 |
| 0,75 | 9,6 | 4,2 | 1,5 | 0,68 |
| 1 | 11,7 | 5,1 | 1,7 | 0,9 |
| 1,5 | 14,1 | 6,5 | 2,1 | 1,2 |
| 2 | 16,5 | 7,5 | 2,4 | 1,5 |
| 2,5 | 18,6 | 8,6 | 2,6 | 1,62 |

Coefficients d'atténuation linéaire (cm⁻¹)

| E(MeV) | Eau d = 1 | Béton d = 2,3 | Béton d = 3,4 | Fer d = 7,85 | Plomb d = 11,3 |
|----------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 0,1 | 0,167 | 0,382 | | 2,700 | 57,1 |
| 0,5 | 0,0966 | 0,200 | 0,306 | 0,650 | 1,57 |
| 1 | 0,0706 | 0,146 | 0,207 | 0,466 | 0,739 |
| 1,5 | 0,0575 | 0,119 | 0,166 | 0,381 | 0,553 |
| 2 | 0,0493 | 0,103 | 0,146 | 0,333 | 0,494 |
| 2,5 | 0,0428 | 0,090 | 0,131 | 0,298 | 0,459 |
| 3 | 0,0396 | 0,0835 | 0,125 | 0,283 | 0,455 |

Coefficients d'atténuation massique (suite)



Dosimétrie des photons en géométrie réelle

✓ Diffusion

✓ Annihilation



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

B : facteur d'accroissement de dose
« build up factor »

$$B > 1 \Rightarrow D_{\text{réelle}} > D_{\text{parfaite}}$$

- ✓ Énergie des photons
- ✓ Nature et dimensions de l'écran
- ✓ Géométrie

Facteurs d'accroissement de dose

| | | E_γ (MeV) | | | | | | | | | |
|-----|---------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | μx | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2 | 2,5 | 3 |
| eau | 1 | 2,60 | 2,45 | 2,30 | 2,20 | 2,10 | 2,00 | 1,95 | 1,90 | 1,80 | 1,70 |
| | 5 | 21,0 | 17,5 | 12,0 | 10,5 | 8,55 | 7,40 | 6,75 | 6,20 | 5,30 | 4,70 |
| | 10 | 75,0 | 56,5 | 37,5 | 27,5 | 21,0 | 17,0 | 14,5 | 12,5 | 10,2 | 8,70 |
| | 15 | 175 | 123 | 74,5 | 51,0 | 36,0 | 28,0 | 23,0 | 19,5 | 15,2 | 12,9 |
| Pb | 1 | 1,25 | 1,30 | 1,35 | 1,40 | 1,45 | 1,45 | 1,45 | 1,45 | 1,40 | 1,35 |
| | 5 | 1,80 | 2,00 | 2,35 | 2,50 | 2,60 | 2,70 | 2,80 | 2,90 | 2,95 | 2,95 |
| | 10 | 2,30 | 2,70 | 3,30 | 3,80 | 4,20 | 4,40 | 4,60 | 4,80 | 5,10 | 5,40 |
| | 15 | 2,65 | 3,30 | 4,15 | 4,90 | 5,50 | 6,00 | 6,40 | 6,90 | 7,70 | 8,40 |

Protection contre les gamma

Les écrans les plus utilisés pour la protection gamma sont :

- ✓ Plomb (masse volumique élevée)

- ✓ Uranium appauvri

châteaux, stockage, enceintes blindées,

- ✓ Eau pour les piscines de stockage des éléments combustibles de réacteurs.

- ✓ Bétons

construction de protection d'accélérateurs, casemates d'irradiation, ...

APPLICATION

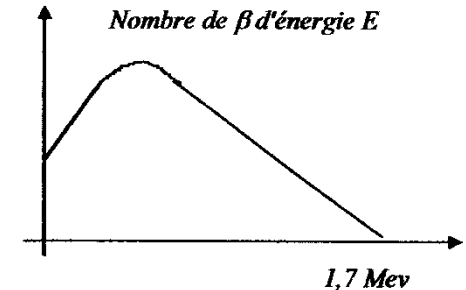
Soit une source ponctuelle émettant des photons de 1 MeV. Le débit de dose à 1 m est de 1 Gy/h. On interpose un écran de plomb de 5 cm. Quel débit de dose reste-t-il ?

Calculer en géométrie parfaite et en géométrie réelle, la protection de plomb nécessaire pour atténuer d'un facteur 20 le débit de dose dû à une source ponctuelle émettant un photon de 1,25 MeV.

Protection contre les bêta

✓ Émission bêta : spectre continu $\langle E_\beta \rangle = 1/3 E_{\max}$

✓ Calcul d'écran de protection :



➤ Énergie inférieure à 0,8 MeV

$$R(\text{cm}) = \frac{0,543 E_{\max}^{1,38}}{d}$$

➤ Énergie supérieure à 0,8 MeV

$$R(\text{cm}) = \frac{0,543 E_{\max} - 0,160}{d}$$

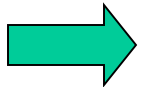
$$R_{\max} = (0,412 \times E^n) / \rho \quad \text{avec} \\ n = 1,265 - 0,0954 \times \ln(E)$$

✓ matériaux de Z élevé \Rightarrow gamma par freinage des électrons auprès des noyaux
➡ écran : matériau léger (**plexiglas, verre; aluminium**)

Exemple : ^{32}P (1,7 MeV) dans le plexiglas ($d=1,2 \text{ g/cm}^3$) $\Rightarrow R_{\max} = 0,635$

Protection contre les neutrons

Neutrons doivent d'abord être **ralentis** avant d'être absorbés
à l'état thermique ou lent par des matériaux comme le bore ou le cadmium
(réaction de capture émettant des photons gamma)



matériaux ralentisseurs riches en hydrogène

(eau, polyéthylène, ...)

Exemple :

$E_n = 5 \text{ MeV}$, dans le béton léger $e_{1/10} = 33 \text{ cm}$

Protection contre les neutrons (suite)

| Matériaux | Densité | Σ_{total} (cm⁻¹) |
|------------------------|----------------|---|
| Eau | 1 | 0,1 |
| Graphite | 1,62 | 0,11 |
| Beryllium | 1,85 | 0,11 |
| BeO | 2,3 | 0,11 |
| Béton ordinaire | 2,3 | 0,099 |
| Béton de baryte | 3,5 | 0,12 |
| Aluminium | 2,7 | 0,10 |
| Fer | 7,8 | 0,16 |
| Plomb | 11,3 | 0,11 |

Protection contre l'exposition interne

Source d'exposition : contamination dans le laboratoire

✓ **Dans l'atmosphère**

- iode,
- eau tritiée,
- poussière,
- déchets non étanches,

✓ **Lieu du travail**

- Manipulation des solutions,
- Contact avec les instruments

Protection collective

✓ **Inhalation** : en fonction de l'activité manipulé et sa radiotoxicité

Moyens mis en œuvre

➤ **Sorbonne** : aspiration vers l'extérieur ($v > 0,5$ m/s)

➡ faibles activité

✓ **Boîtes à gants** : étanche mise en dépression par une ventilation filtrée

➡ Radioéléments de toxicité élevée

✓ **Ventilation des locaux** : dépression croissant par zone séparées par sas

➡ Faible activité non volatils

Protection collective (suite)

✓ **Contamination** : manipulation des sources **non scellés**



Risque de contamination de surface

⇒ éviter un rejet à l'extérieur

⇒ faciliter une éventuelle décontamination :

- Travail dans des locaux balisés : **Zone surveillée, Zone contrôlée**
- Sol du laboratoire imperméable : **matériau plastique avec joints**
- Murs revêtus de **peinture lisse**
- Surfaces de travail **décontaminables**

Protection individuelle

✓ **Inhalation** : masque respiratoire autonome à filtration

- Cartouches en papier filtre absolu pour les aérosols,
- Charbon actif pour les gaz et vapeurs (iode)
- Cartouche combinée

✓ **Éviter la contamination de la peau** : vêtements de travail adaptés

- blouse fermée,
- gants.

Bonnes pratiques de Laboratoire

1. Ne jamais manger, boire, fumer, se maquiller dans les locaux de travail,
2. Ne pas pipeter à la bouche des solutions radioactives,
3. Confiner : manipuler dans un plateau, sur du papier type benchkote,
4. Baliser : les surfaces de travail, le lieu d'entreposage des sources,
5. Marquer : préparations radioactives, matériel utilisé (trèfle conventionnel),
6. Contrôler : surfaces de travail, le sol, matériel, mains, vêtements,
7. Eliminer les déchets selon les procédures établies.

Conduites à tenir en cas d'accident

1. Contamination des surfaces de travail

- ✓ Baliser la zone contaminée,
- ✓ Nettoyer à l'aide de cotons humides
- ✓ Vérifier la contamination à l'aide d'un appareil adapté.

2. Contamination de la peau

- ✓ Lavage immédiat à l'eau et au savon
- ✓ Eviter d'étendre la contamination
- ✓ Ne pas utiliser de solvants ni de produits agressifs
- ✓ Consulter le service médical ou le service spécialisé recommandé par le médecin si une contamination persiste

Conduites à tenir en cas d'accident (suite)

3. Inhalation ou d'ingestion

⇒ **Moyens thérapeutiques spécifiques sous surveillance médicale**

- ✓ Injection intraveineuse de DTPA, chélateur qui précipite les émetteurs alpha afin d'empêcher leur passage dans le sang et leur fixation dans un organe.
- ✓ Absorption d'iode stable pour saturer la thyroïde et empêcher la fixation ultérieure de l'isotope radioactif absorbé
- ✓ Absorption de beaucoup de boissons pour renouveler le plus vite possible l'eau des tissus dans le cas de l'eau tritiée.

Moyens d'évaluation de l'exposition interne

1. Anthropogammamétrie

- ✓ Spectrométrie du corps humain ou d'un organe.
- ✓ Examen inefficace pour la contamination Bêta purs :

^3H , ^{14}C , ^{35}S , ^{32}P , ...

2. Examen radiotoxicologique

- ✓ Recueillir pendant 24 heures les urines pour analyse après séparation chimique.
- ✓ Surveillance régulière complétée par une recherche dans les selles et sur les mouchoirs utilisés après l'accident.