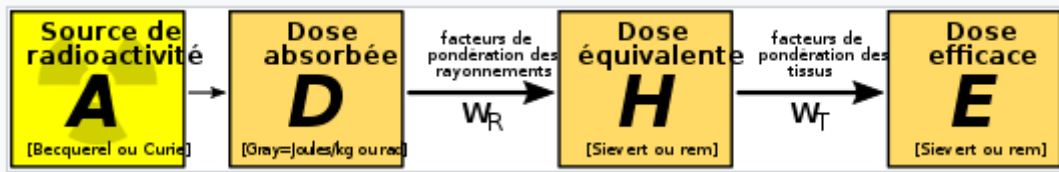


Dosimétrie, Détecteurs et Radioprotection – Fiche de cours

1. Dosimétrie



a. Dose absorbée

La dose absorbée est une grandeur physique ; il s'agit de l'énergie radioactive moyenne absorbée par la matière par unité de masse

$$D = \frac{E}{m} \quad \text{unité en Gy (Gray)} ; 1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$$

b. KERMA

Le KERMA est une grandeur physique ; il s'agit de l'énergie moyenne radioactive transmise par les rayonnements ionisants non chargés aux électrons d'un milieu $K = \frac{E}{m}$ unité en Gy (Gray)

L'équilibre électronique (build-up) est défini par :

- une sphère de rayon $R_{\max}$ (parcours maximal des électrons)
- le milieu et la fluence homogènes
- au delà de cette zone $K = D$

c. Débit de dose

Le débit de dose est une grandeur physique définie par : $\dot{D} = \frac{D}{\Delta t}$

Soient 2 points de l'espace ① et ② distants respectivement de d_1 et d_2 d'une source radioactive $\dot{D}_1 \cdot d_1^2 = \dot{D}_2 \cdot d_2^2$

d. Exposition

L'exposition est une grandeur physique ; il s'agit de la charge des ions produits dans l'air par les électrons mis en mouvement

$$E = \frac{q}{m} \quad \text{unité en C.kg}^{-1}$$

e. Grandeurs en radioprotection

- Dose équivalente H

La dose équivalente est une grandeur estimée des risques aléatoires selon le type de rayonnement : $H = D \cdot w_R$ unité en Sv (Sievert)

Facteurs de pondération

- photons X, γ et radioactivité β : $w_R = 1$
- protons : $w_R = 2$
- neutrons : $w_R = 2,5$ à 20
- particules α et lourdes : $w_R = 20$

- Dose efficace E

La dose efficace est une grandeur estimée des risques aléatoires selon le type de tissu : $E = H \cdot \sum w_T$ unité en Sv (Sievert)

Facteurs de pondération

Tissu	w_T
moëlle osseuse, côlon, poumon, estomac, seins	0,12
gonade	0,08
Vessie, foie	0,04
peau, os, cerveau	0,01

f. Mesure de la dose en médecine

- médecine nucléaire : radiothérapie interne vectorisée ; A en Bq
- radiothérapie externe : D en Gy
- radiologie : D/m^2 en Gy/m^2
- scanographie : $D.m$ en $Gy.m$
- mammographie : D en Gy
- les limitations réglementaires sont indiquées en dose efficace

2. Détecteurs

a. Comptage de particules

- Taux de comptage

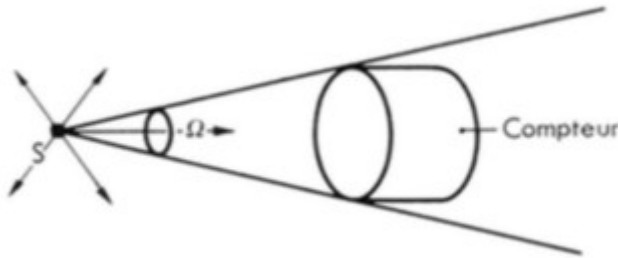
Nombre d'impulsions par unité de temps

- Bruit de fond

Taux de comptage en l'absence de signal utile

- Géométrie de détection

En supposant la source isotrope le rayonnement est détecté dans un angle solide vu par la source :



Le facteur géométrique est défini par $g = \frac{N_{vue}}{N_{source}} = \frac{\Omega}{4\pi}$

- Efficacité

L'efficacité d'un compteur est définie par $E = \frac{N_{comptée}}{N_{vue}}$

L'efficacité est élevée pour les particules chargées et faible pour les particules neutres

- Volume sensible

Région de l'espace où l'efficacité est supérieure à une valeur donnée

- Durée de vie

Nombre d'impulsions pouvant être délivrées par le compteur (avant qu'il ne devienne inutilisable)

- temps mort τ : durée pour laquelle le détecteur est occupé et perd du signal utile à la mesure

- taux de comptage corrigé :

$$C' = \frac{C}{1 - \tau C}$$

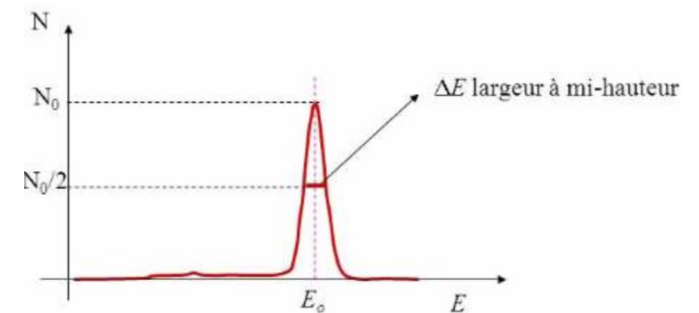
b. Spectrométrie de particules

- classe les particules selon leur nature

- classe les particules selon leur énergie (pour une catégorie donnée)

- hauteur de l'impulsion est proportionnelle à l'énergie perdue par la particule

- résolution $r(\%) = \frac{\Delta E}{E_0} \cdot 100$



- utilisé pour la détection de particules α ou de rayons X

c. Détecteurs passifs

Matériau détecteur constitué de filtres destinés à identifier la nature des rayonnements :

- détecteur radiophotoluminescent (RPL)

- détecteur thermoluminescent (TLD)

- détecteur à luminescence optiquement stimulé (OSL)

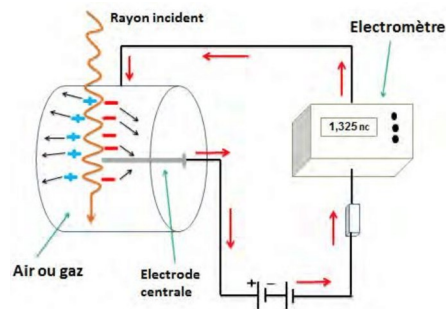
- détecteur solide de traces

d. Détecteurs actifs

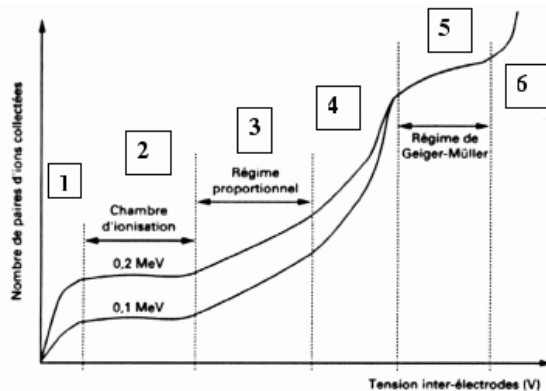
- Scintillateur

- utilise des propriétés d'excitation de la matière
- convertit les particules détectées en lumière (UV-visible)
- le détecteur transforme les photons en électrons puis leur nombre est amplifié pour obtenir un courant électrique mesurable
- scintillateurs inorganiques (solides) : efficacité élevée, pas très rapides, détection des particules α , X et γ
- scintillateurs organiques (liquides) : efficacité pas très élevée, très rapides, détection des particules β
- utilisés pour les gamma caméra, détecteurs de contamination

- Détecteur à gaz



Selon la valeur de la haute tension accélératrice, le détecteur à gaz a plusieurs modes d'utilisation



- Zone 1 : pas de détection
- Zone 2 : chambre d'ionisation : dosimètre ou étalonnage
- Zone 3 : compteur de particules
- Zone 4 : pas de détection
- Zone 5 : compteur Geiger-Müller (décharges électriques audibles)
- Zone 6 : pas de détection

- Détecteur à semi-conducteur

- Equivalent à une chambre d'ionisation solide
- Efficacité améliorée et meilleure résolution en énergie
- Utilisé en dosimétrie opérationnelle

3. Radioprotection

a. Les rôles de la radioprotection

La radioprotection est l'ensemble des mesures prises pour assurer la protection de l'homme contre les effets néfastes des rayonnements ionisants

Les 3 grands principes de la radioprotection sont :

- Justifier : utiliser un type de rayonnement s'il n'existe pas d'autre alternative
- Optimiser : exposition au niveau de dose le plus faible
- Limiter : limites annuelles à ne pas dépasser

- Exposition externe

Calcul de la dose efficace lié à un panache ou à une source éloignée

- Exposition interne

Calcul de la dose efficace engendrée par l'incorporation de radionucléides dans l'organisme

Les 4 règles de protection opérationnelles sont :

- distance : s'éloigner des sources de rayonnement
- activité : réduire l'activité de la source
- temps : minimiser la durée d'exposition aux rayonnements
- écran : les rayons α sont arrêtés par une feuille de papier, les rayons β sont arrêtés par quelques millimètres d'aluminium; les rayons γ sont qualifiés de négligeables après 10 CDA

b. Les principales sources de radioactivité

La dose moyenne des radiations naturelle est 2,4 mSv/an

- Composante tellurique

- en moyenne 0,46 mSv/an
- dépend de la nature du sol ; variable à la surface terrestre

- Composante cosmique

- en moyenne 0,41 mSv/an
- augmente avec l'altitude (double tous les 1500 mètres)

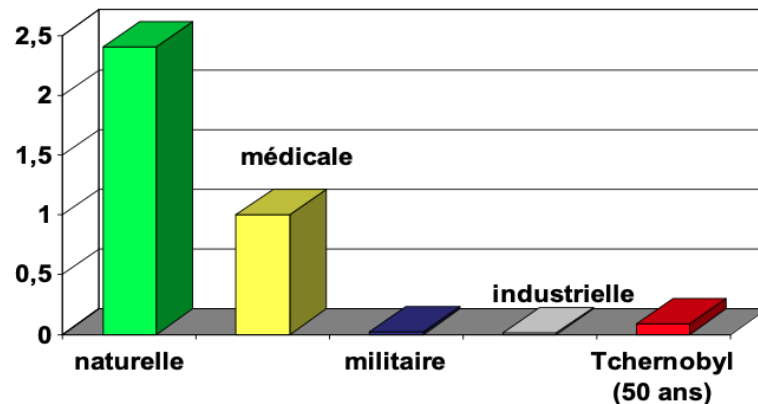
- Radon (émetteur de particules alpha)

- en moyenne 1,3 mSv/an
- présent dans l'air ou dans l'eau

- Organique

- en moyenne 0,23 mSv/an
- organismes vivants

L'homme est également exposé à de la radioactivité d'origine médicale, militaire, industrielle, accidentelle



c. Histoire de la radioactivité

- en 1895 Rontgen découvre les rayons X
 - en 1896 Becquerel découvre la radioactivité
 - en 1898 Pierre et Marie Curie découvrent le Radium et le Polonium
- Sur le plan médical la radioactivité est utilisée dès sa découverte

d. Les effets sur l'homme

Les effets déterministes

D'autant plus graves que la dose est élevée

Seuil de 100 mSv ; effets précoces et tardifs

Liés à la mortalité ou au dysfonctionnement cellulaire

Les effets stochastiques

Pour de faibles doses ; effets tardifs

Liés à des mutations, modification de fonction des cellules, des cancers ou des maladies héréditaires

- Effets biologiques

- physiques : lésions directes de l'ADN 20%
- chimiques : lésions indirectes par hydrolyse de l'eau 80% et création de radicaux
- 3 types de lésions : létales d'emblée, sublétales, potentiellement létale
- les radiations tuent des cellules ou les amènent à se suicider ; des effets indirects sur les cellules peuvent provenir des radicaux libres
- Effet "godzilla" ; les radiations créent des lésions qui permettent la survie de la cellule ; des effets tardifs sont possibles

- Radiosensibilité

- les phases G2 et M du cycle cellulaire sont les plus radiosensibles
- selon les types de rayonnement : $\alpha > \text{neutrons} > \beta$
- une cellule est davantage radiosensible si elle est : jeune, peu différenciée, à forte capacité reproductive

e. Les organismes français en radioprotection

- ASN : autorité de sûreté nucléaire (autorisation / contrôle)
- IRSN : institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (surveillance / expertise)

f. Les organismes internationaux en radioprotection

- CIPR : depuis 1928 commission internationale de protection radiologique
- UNSCEAR ; depuis 1955 comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants
- l'Union Européenne
- AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique
- ICRU : International Commission Radiation Units and Measurements

g. Les limites en radioprotection

L'union européenne au travers d'Euratom reprend les avis de l'UNSCEAR et du CIPR selon les normes suivantes :

Travailleurs		Publics	
Dose efficace	Dose équivalente	Dose efficace	Dose équivalente
Catégorie A : 20 mSv par an	Cristallin 20mSv/an Peau 500 mSv/an Extrémité 500 mSv/an	1 mSv /an	Cristallin 15mSv/an Peau 50 mSv/an
Catégorie B : 6 mSv par an			

h. Dosimétrie des travailleurs

Dans le cadre du contrôle radiologique individuel, la grandeur opérationnelle utilisée pour les travailleurs est l'équivalent de dose $H_p(d)$

- rayonnements peu pénétrants $d=0,07$ mm (peau et extrémités)

seuil de détection de 0,5 mSv

- rayonnements pénétrants $d=3$ mm (cristallin) seuil de détection de 0,1 mSv
- rayonnements très pénétrants $d=10$ mm (corps entier) seuil de détection de 0,1 mSv

i. Mesure de l'exposition

- Travailleurs de catégorie A : dosimètre opérationnel à semi-conducteur, dosimètre passif mensuel
- Travailleurs de catégorie B : dosimètre opérationnel à semi-conducteur, dosimètre passif trimestriel

j. Niveaux d'exposition et effets

- 20 mSv : limite annuelle des travailleurs
- 100 mSv : augmentation du nombre cancers
- 0,5 Sv et après quelques heures : cataracte, nausée, vomissement, diarrhée, rougeur de la peau, manque d'appétit
- 5 Sv et après quelques heures : dose mortelle dans 50% des cas ; atteinte de la moelle osseuse (cellules hématopoïétiques), tissu gastro-intestinal, appareil respiratoire, système nerveux