

# 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,  $\gamma$  et radioactivité  $\beta$  :  $w_R = 1$
- protons :  $w_R = 2$
- neutrons :  $w_R = 2,5$  à  $20$
- particules  $\alpha$  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  $\text{Gy/m}^2$
- scanographie :  $D \cdot m$  en  $\text{Gy} \cdot \text{m}$
- mammographie : D en Gy
- les limitations réglementaires sont indiquées en dose efficace

## 2. Détecteurs

### a. Comptage de particules

#### - Taux de comptage

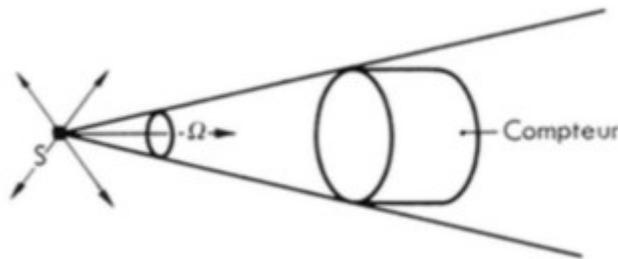
Nombre d'impulsions par unité de temps

#### - 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  $\tau$  : durée pour laquelle le détecteur est occupé et perd du signal utile à la mesure

- taux de comptage corrigé :

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

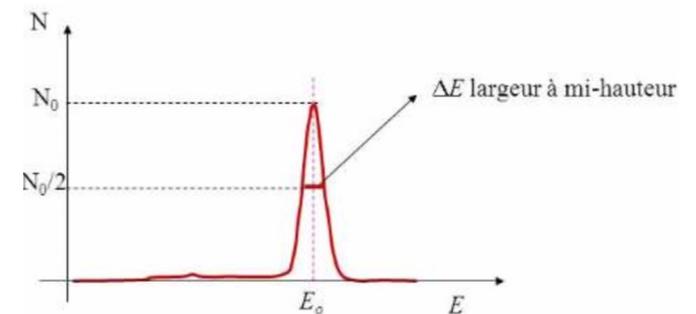
### b. Spectrométrie de particules

- 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  $\alpha$  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)

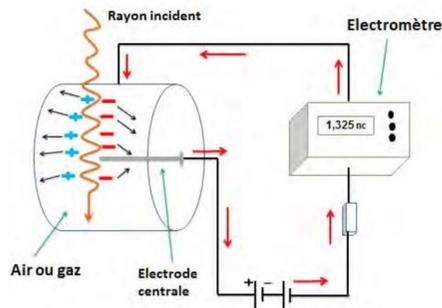
- détecteur solide de traces

## d. Détecteurs actifs

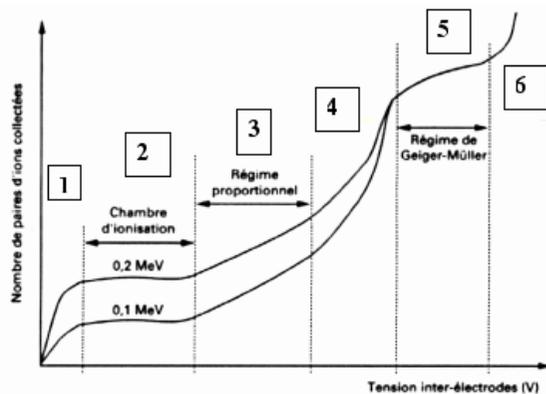
### - Scintillateur

- 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  $\alpha$ ,  $X$  et  $\gamma$
- scintillateurs organiques (liquides) : efficacité pas très élevée, très rapides, détection des particules  $\beta$
- 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  $\alpha$  sont arrêtés par une feuille de papier, les rayons  $\beta$  sont arrêtés par quelques millimètres d'aluminium; les rayons  $\gamma$  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)

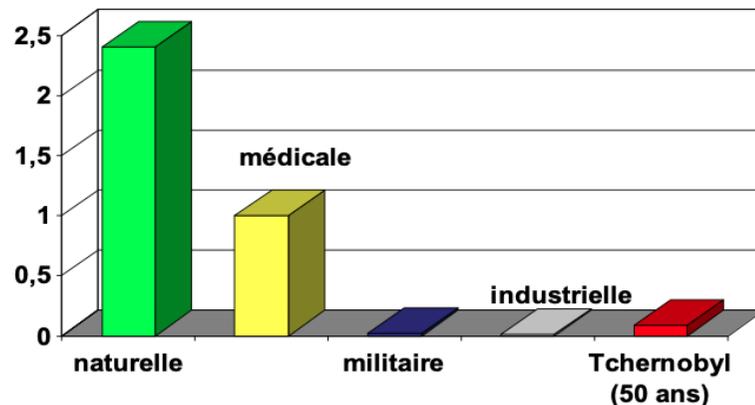
### - Radon (émetteur de particules alpha)

- 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 découvre 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
<u>Catégorie A</u> : 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
<u>Catégorie B</u> : 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