

# Radioprotection

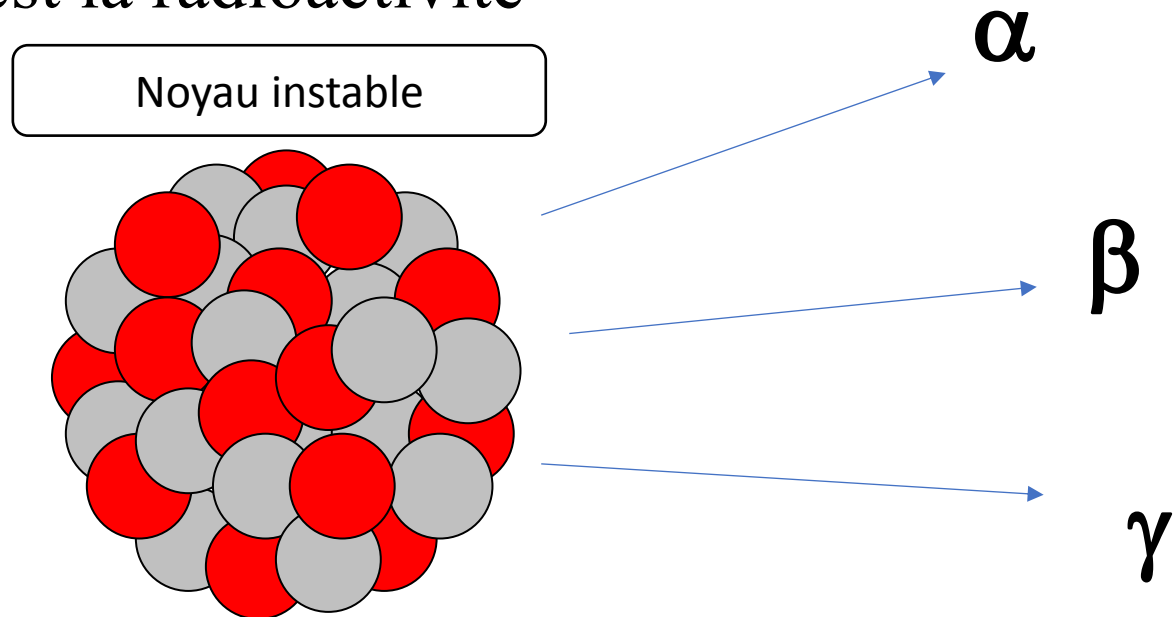
Saadallah Yousra  
Maitre assistant  
2019/2020

## Définition

- La radioprotection est: « *l'ensemble des mesures destinées à assurer la protection de l'homme et de son environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants ( substances radioactives) tout en permettant de les utiliser.* »

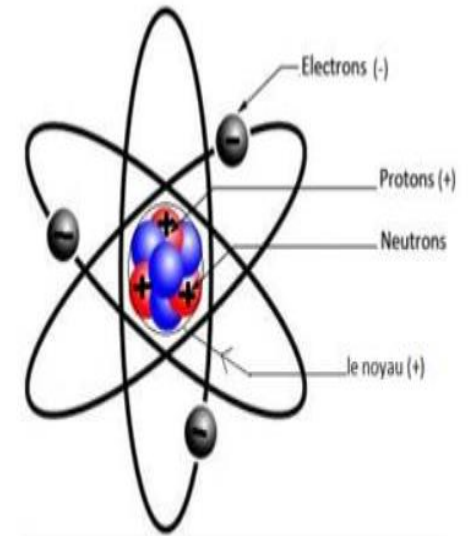
# Radiations ionisantes?

- Radiations ionisantes= nucléaire
- Le noyau d'un atome radioactif est instable, il se stabilise en produisant de l'énergie : c'est la radioactivité



# Structure de l'atome

- Un atome est une particule électriquement neutre constitué d'un noyau et d'électrons qui tournent autour
- Le noyau est composé de:
  - Nucléons (neutrons et protons) : les protons chargés +
  - les neutrons n'ont pas charge
  - Les électrons sont chargés –



# Structure de l'atome

- $z$  = le nombre de protons, c'est le numéro atomique
- $A = Z + N$  = le nombre de masse qui correspond aux nombres de protons et de neutrons
- $A - Z$  = le nombre de neutrons



Exemple:



$A = 12$      $Z = 6$  protons

$N = A - Z = 6$  neutrons

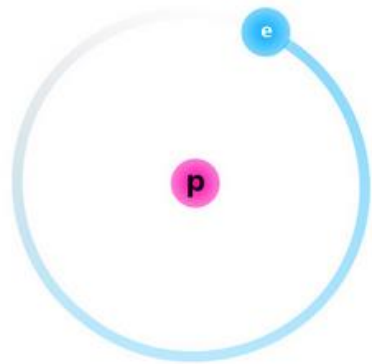
# Structure de l'atome

Symbole	Nombre d'électrons	Nombre de protons	Nombre de neutrons
${}^1_1\text{H}$			
${}^{14}_7\text{N}$			
${}^{35}_{17}\text{Cl}$			
${}^{238}_{92}\text{U}$			

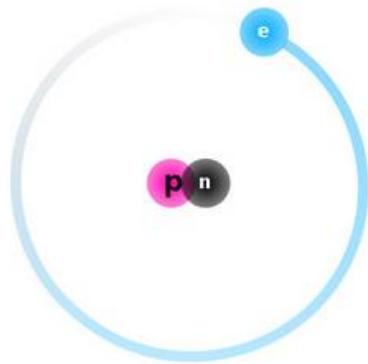
# Isotopes

- Ce sont des éléments qui ont le même nombre de protons  $Z$  mais un nombre de neutrons différents
- Les 3 isotopes ont les mêmes caractéristiques mais ont un nombre de neutrons différents qui aura un effet sur la stabilité du noyau.

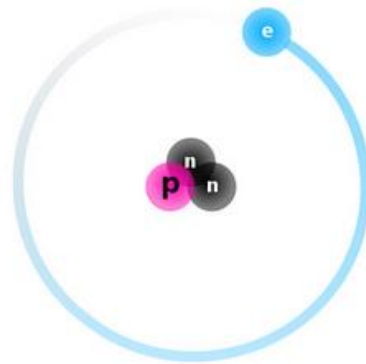
# Isotopes



**Protium**



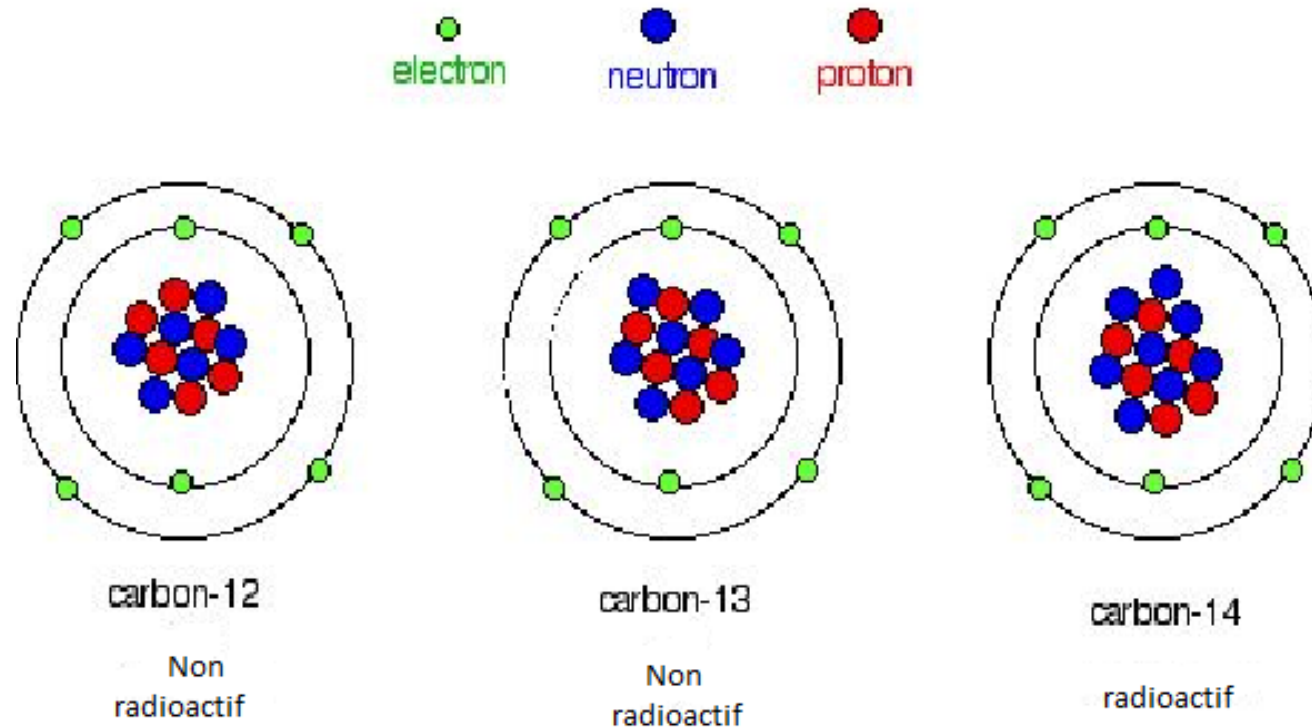
**Deuterium**



**Tritium**

- Un atome d'Hydrogène a 1 proton et 1électron
- Un atome de deutérium a 1 proton, 1 électron et 1neutron
- Un atome de tritium a 1 proton, 2 neutron et 1 électron

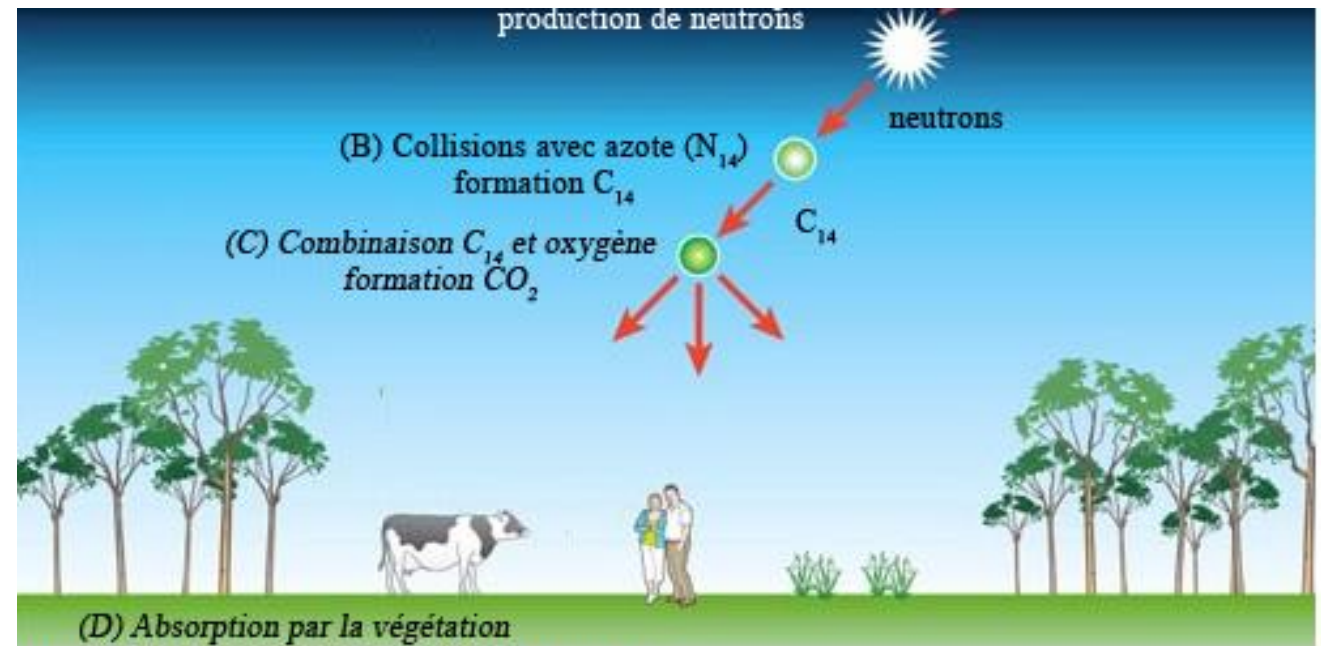
# Isotopes



- Le carbone 14 est un isotope radioactif du carbone,
- Il contient 6 protons et 8 neutrons
- Sa période est de 5700 ans et il émet des électrons bêta
- Le gaz carbonique formé à partir du Carbone-14 est chimiquement identique au gaz carbonique normal. L'isotope radioactif est absorbé par les végétaux et les êtres vivants comme du carbone ordinaire

# Isotopes

- Le Carbone 14 se retrouve dans une infime proportion à l'intérieur de tous les composés du carbone et dans la matière vivante. Il est responsable de la radioactivité du corps humain avec le potassium
- A la mort d'un organisme, l'isotope décroît avec le temps
- La quantité de Carbone-14 subsistant dans un échantillon ayant appartenu à cet organisme est utilisée pour dater cet organisme

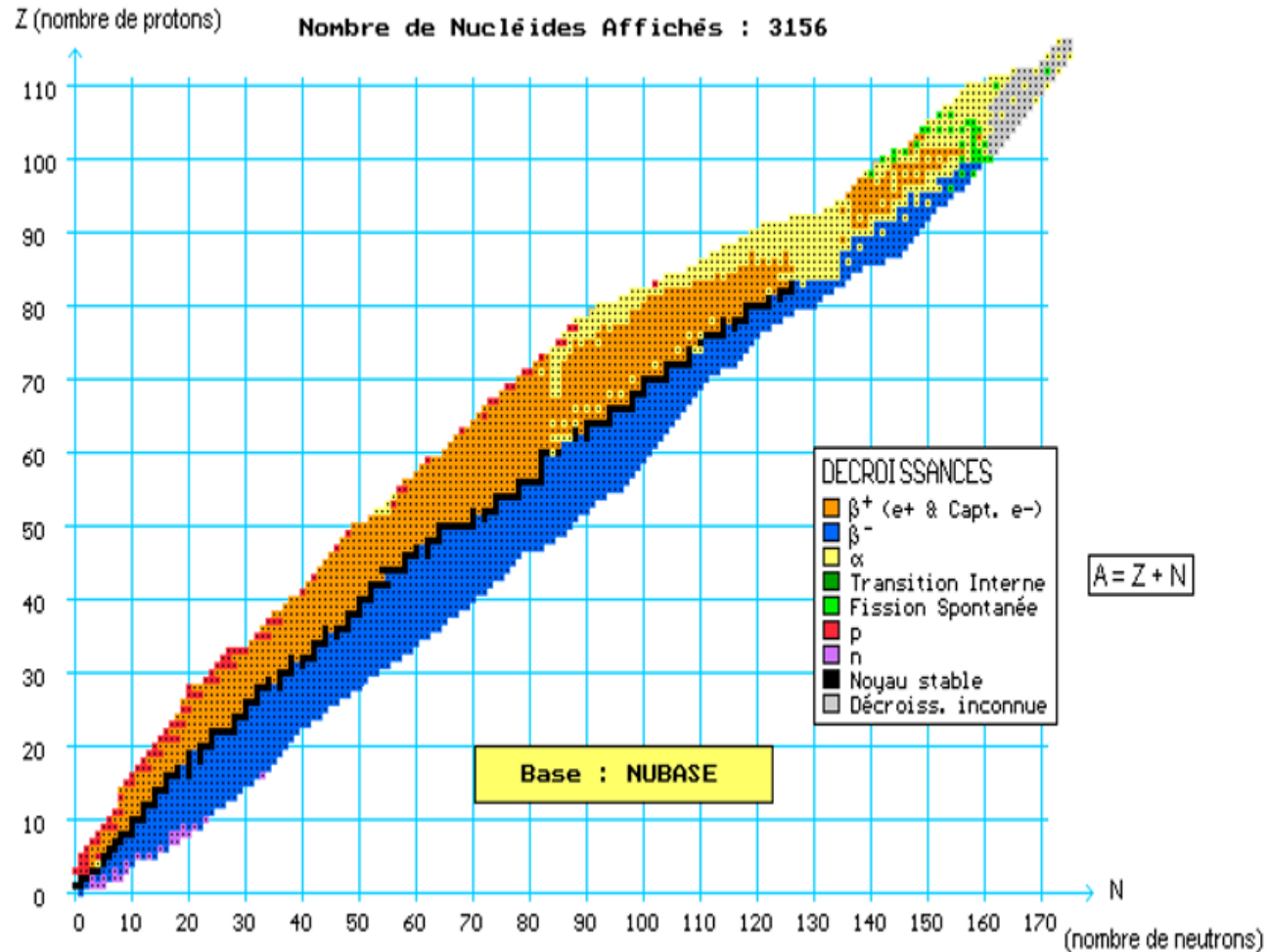


## Etapes de la formation du carbone-14

Le carbone-14 est généré en continu dans l'atmosphère par le rayonnement cosmique. Des neutrons sont éjectés de noyaux de la haute atmosphère lors de collisions avec des rayons cosmiques (A). Capturés par des noyaux d'azote (N-14), les neutrons transforment ces noyaux en carbone-14 (B). Les atomes de carbone-14 s'unissent avec l'oxygène de l'air pour former du gaz carbonique (C). Finalement le CO<sub>2</sub> à base de radiocarbone, absorbé par la végétation, s'insère dans l'environnement (D).

21/11/2022

# Courbe de stabilité des isotopes



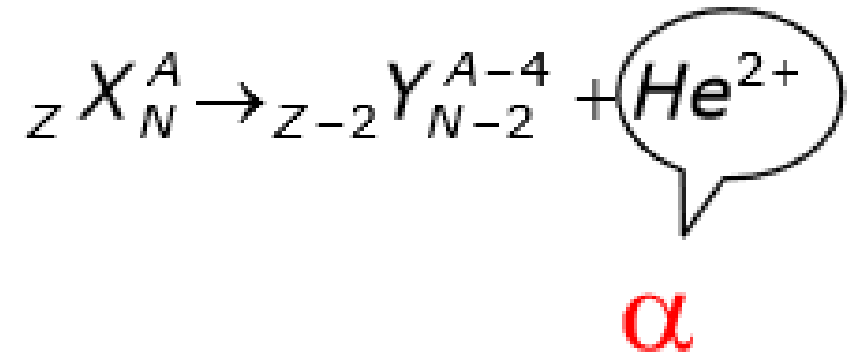
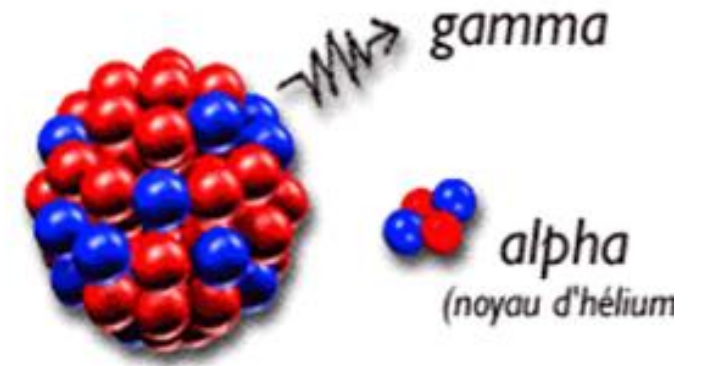
- La courbe de stabilité ( noire ) : représente les atomes stables dans la nature
- Si un isotope s'éloigne de la courbe noire, soit par un excès de protons → l'isotope est donc instable.
- Pour retourner vers son état d'équilibre, isotope va émettre un rayonnement ( il se désintègre ),

# Les 2 catégories de rayonnements

- Rayonnements corpusculaires: émissions  $\beta$  et  $\alpha$
- Rayonnements électromagnétiques: ce sont des ondes de même nature que la lumière, ce sont les rayons X et Gamma

# Émission $\alpha$

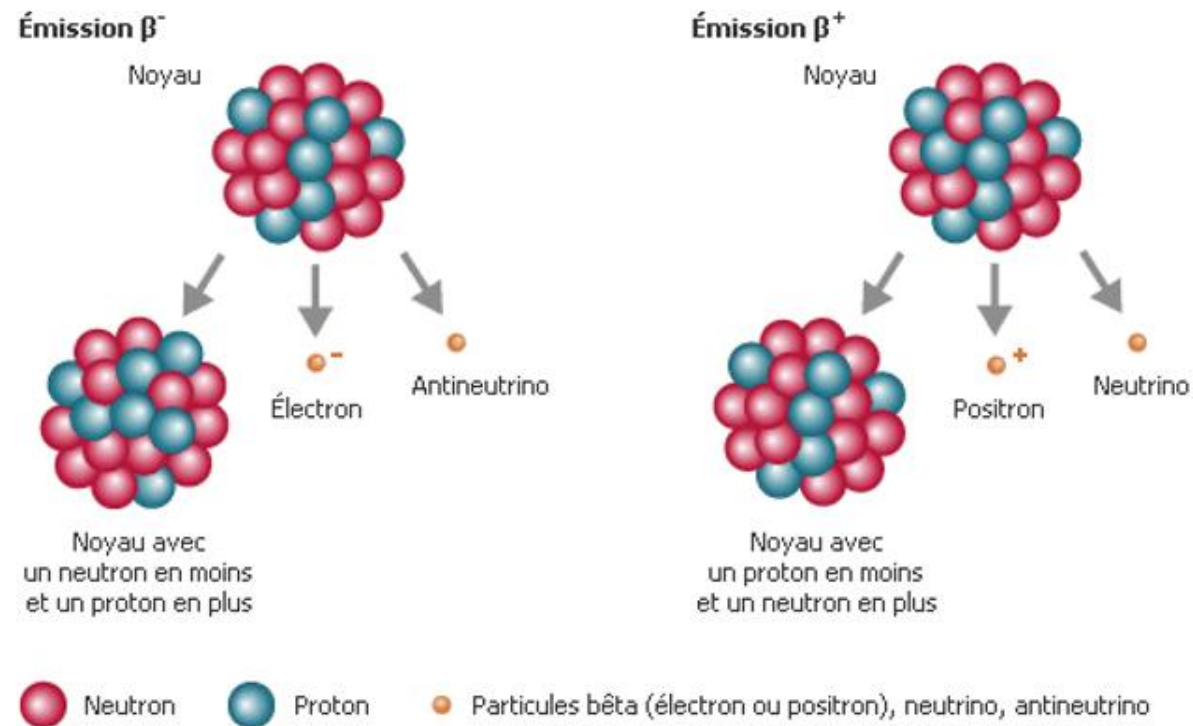
- Correspond à l'éjection d'un noyau d'Hélium et est généralement accompagné d'une émission.
- Ce type de désintégration n'a lieu que pour les noyaux lourds  $A > 209$ .



# Émission $\beta$

Elle est possible par la présence de force dans le noyau pour transformer un neutron en proton ou un proton en neutron.

Cette transformation s'accompagne (voir schéma),



# Rayons électromagnétiques

- Les rayons X et gamma sont des ondes électromagnétiques qui se différencient par leurs origines: ce sont des rayonnements **photoniques**
- Rayons X ont leurs origines au niveau du cortège électronique de l'atome tandis que les rayons gamma sont issus du noyau

# Caractéristique d'une onde électromagnétique

- Elle se déplace dans le vide à la vitesse de la lumière
- La longueur d'onde (unité en mètre): est la distance que parcourt l'onde pendant une période  $T$  ( unité en mètre)

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$$

- Comme toute oem , l'énergie transportée par un photon  $X$  est lié à sa fréquence( donc à sa longueur d'onde) unité= eV

$h$  = constante de planck (6,62j.s)

$\nu$  = fréquence de l'onde en Hz

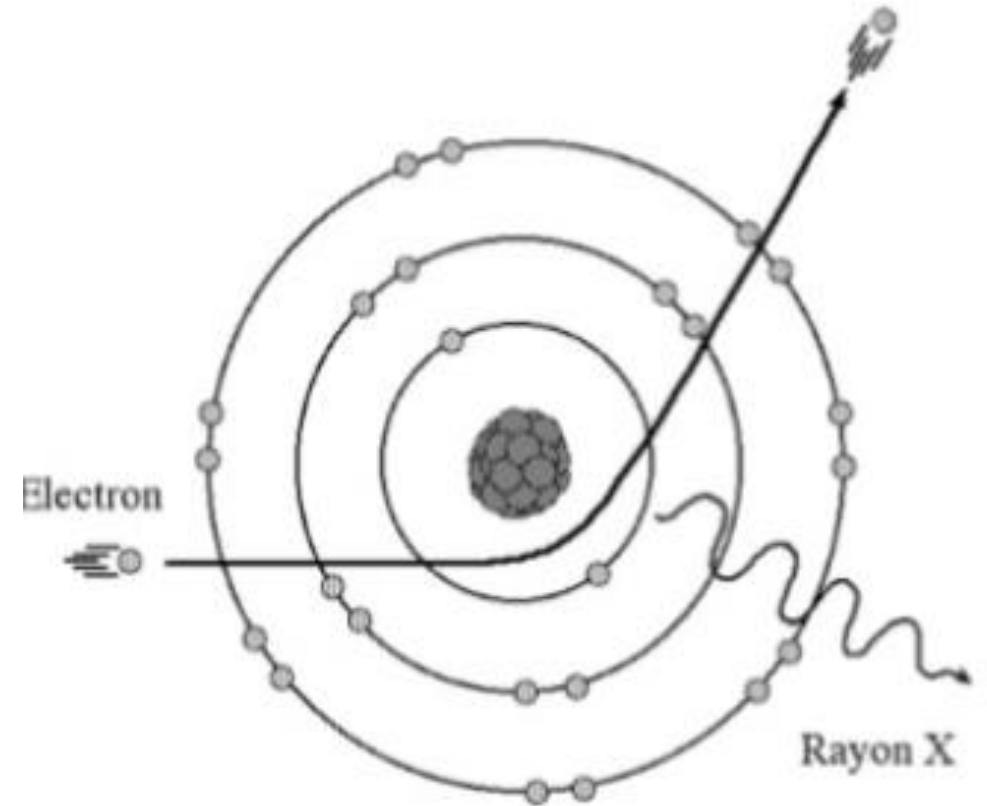
$$E = h \nu$$

# Production des rayons X

- Il y a 2 possibilités:
  - Le Rx est né d'une déviation importante qu'un électron a subi et qui a perdu une partie de son énergie sous forme de rayonnement électromagnétique dit « rayonnement de freinage »

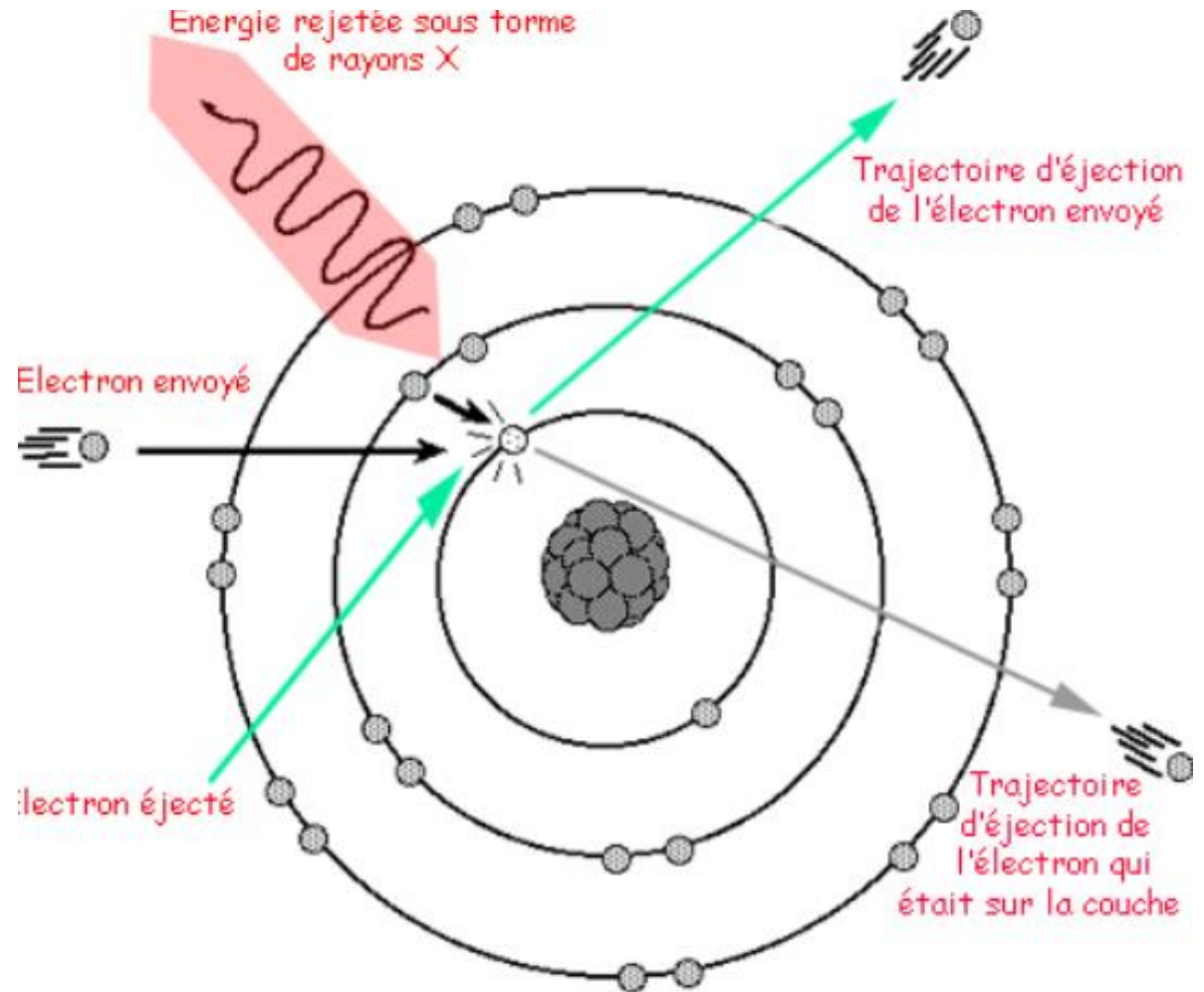
C'est le mode principal de production en radiologie.

Si la particule passe loin du noyau , elle est peu déviée le rayonnement de freinage est de faible énergie,



# Production des rayons X

- Lorsque l'énergie de l'électron incident est supérieure à l'énergie de liaison d'un électron lié, ce dernier est arraché du cortège électronique
- Si l'électron arraché provient d'une couche interne de l'atome  $\Rightarrow$  les électrons des couches externes auront tendance de se précipiter pour remplacer la place vacante. Cet électron va perdre de l'énergie sous forme de rayons X.
- 1% du rayonnement X



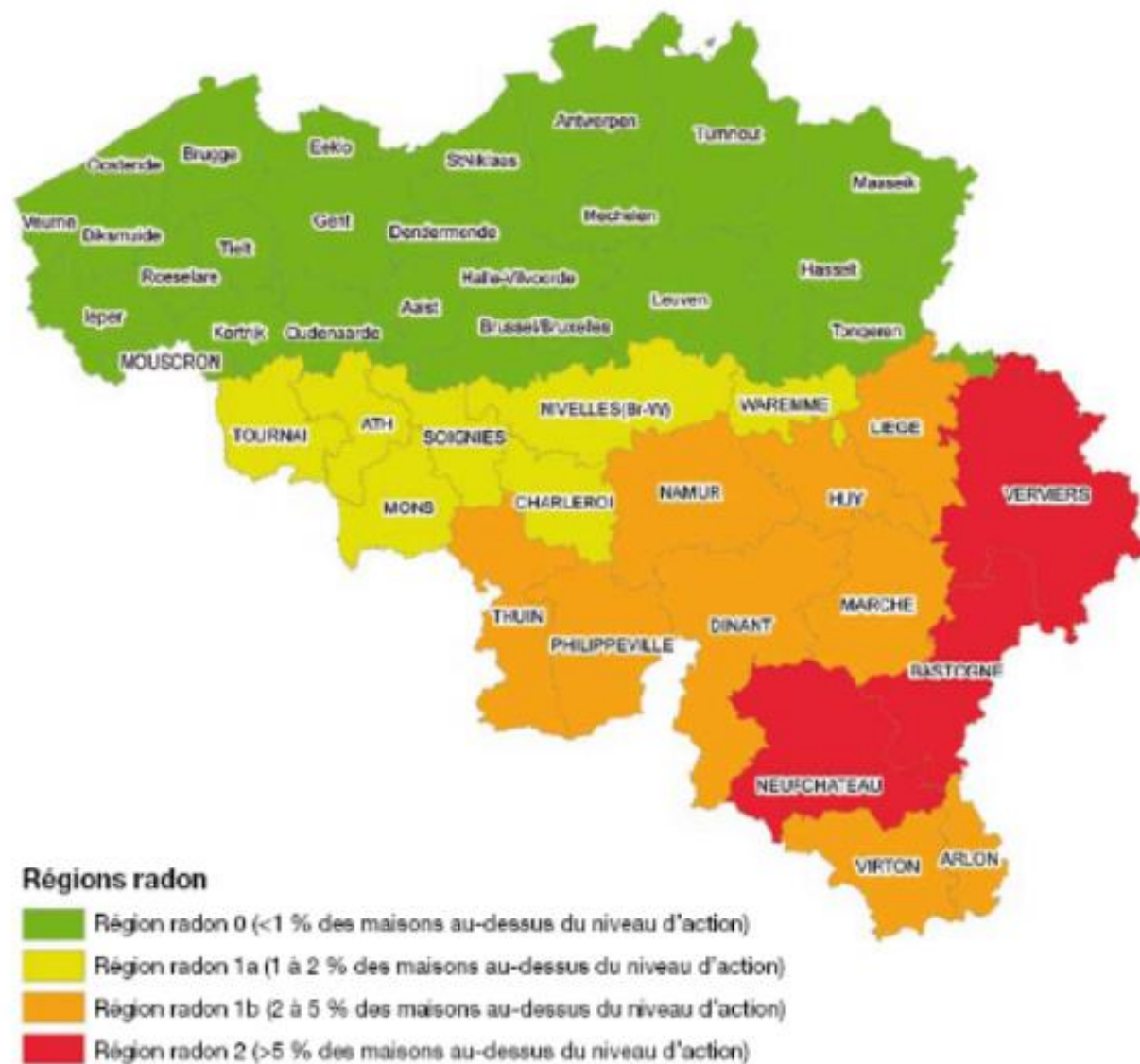
# La radioactivité naturelle ?

- Nous sommes soumis constamment à la radioactivité naturelle qui provient :
- **Les rayonnements cosmiques:** Des particules énergétiques provenant de galaxies et du vent solaire constituent ce rayonnement, **qui n'est pas émis par désintégration de noyaux radioactifs.**

# La radioactivité naturelle

- **Le rayonnement tellurique:** Les **roches granitiques** représentent ainsi une source de **radioactivité**. L'uranium 238, l'uranium 235 et thorium 232 sont parmi les **radionucléides naturels** principaux du sol et du sous-sol. Leur radioactivité constitue le **rayonnement tellurique**.
- **Le radon (1500  $\mu\text{Sv}/\text{an}$ ):** est un gaz radioactif, formé par l'uranium présent dans le sol et les roches. Il est indolore

- En Belgique, la concentration moyenne en radon dans les habitations est de **46 Bq/m<sup>3</sup>**.
- Le sud de la Belgique est plus touché par le radon que le nord.

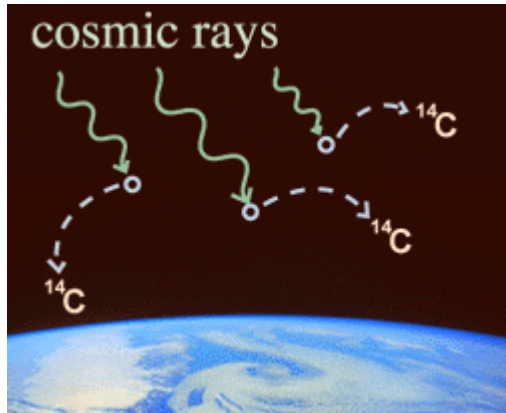


Carte de l'exposition au radon en Belgique

# La radioactivité naturelle ?

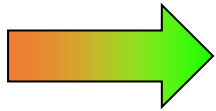
- Radionucléide dans le corps: **K 40 (potassium ou Kalium)** se trouve dans nos os.
- **Le carbone 14** :les rayonnements cosmiques induisent également la production de **carbone 14 radioactif dans la haute atmosphère.**
- Tout ce qui est autour de nous se révèle radioactif: les roches, les matériaux de construction, l'eau, l'air, les aliments et même notre corps.

# La radioactivité naturelle



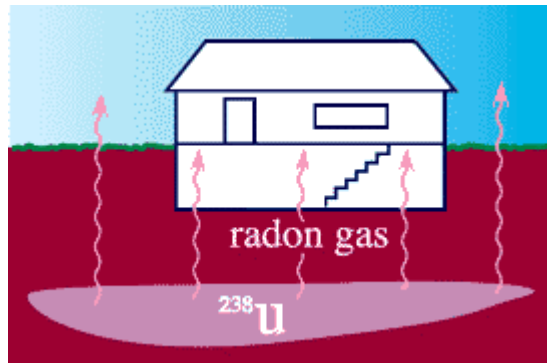
**atmosphère**  
*rayonnements cosmiques*

Photons, muons, neutrons, ... +  
radio-elements  $^{14}\text{C}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^3\text{H} \rightarrow \beta$



$^{14}\text{C}$  T = 5730 ans s'échange avec  $^{12}\text{C}$  stable

⇒ molécules  $^{14}\text{CO}_2$  absorbées par plantes ⇒ animaux ⇒ nous ..



**écorce terrestre**  
*rayonnements telluriques*

radio-elements  $^{40}\text{K}$ ,  $^{32}\text{P}$ , ... +  
familles U, Ra, Rn, Th, Tn

# Radioactivité artificielle?

Elle a été découverte en 1934 par Irène et Frédéric Joliot –Curie:2 physiciens et chimistes français,

Elle possède les mêmes propriétés que la radioactivité naturelle et elle résulte des:

- applications médicales (radiologie, dentisterie, médecine nucléaire, radiothérapie), industrielles et de la recherche

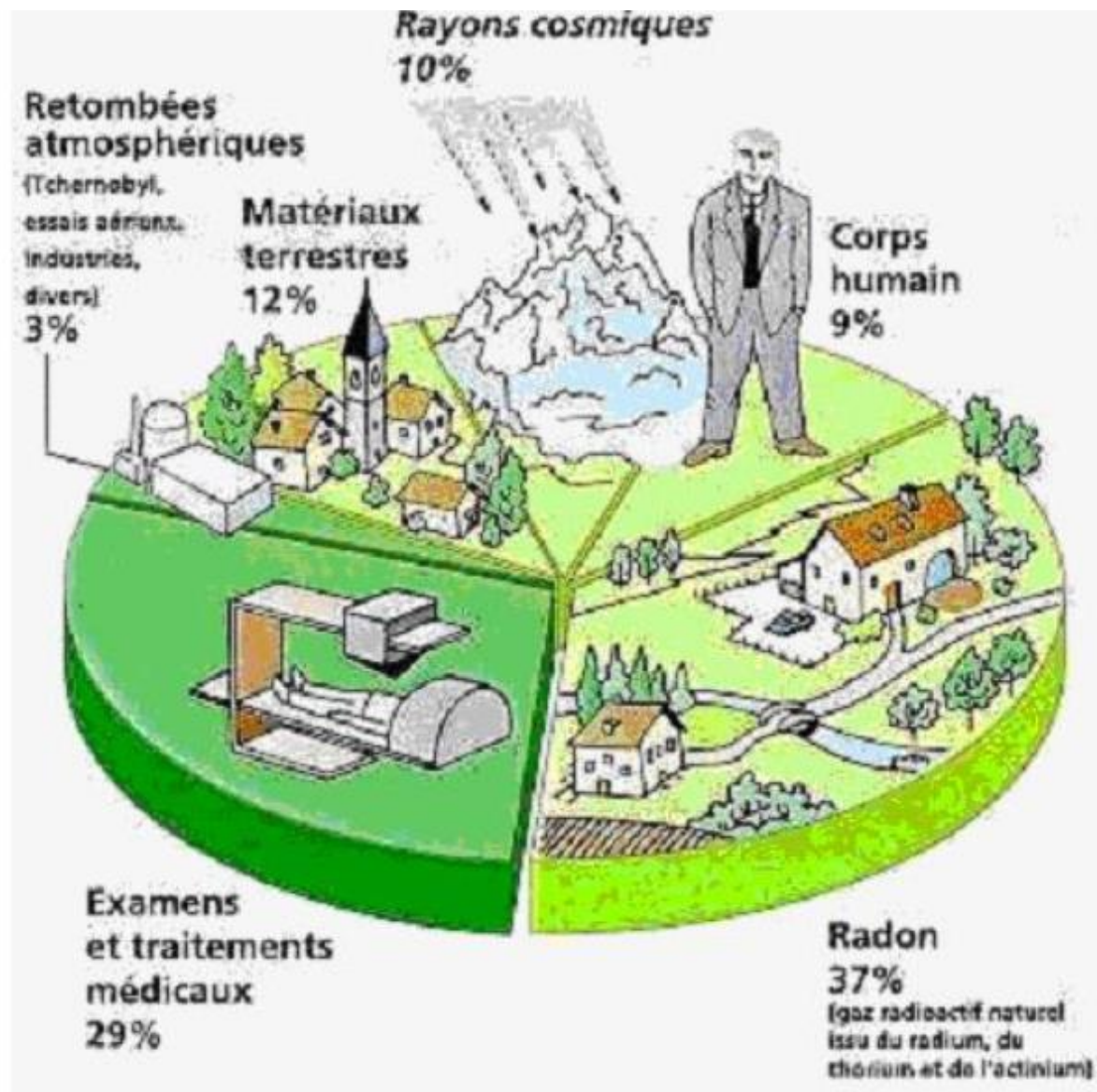


# Radioactivité artificielle?

- retombées des essais d'armes nucléaires( Tchernobyl)
- rejets des installations nucléaires

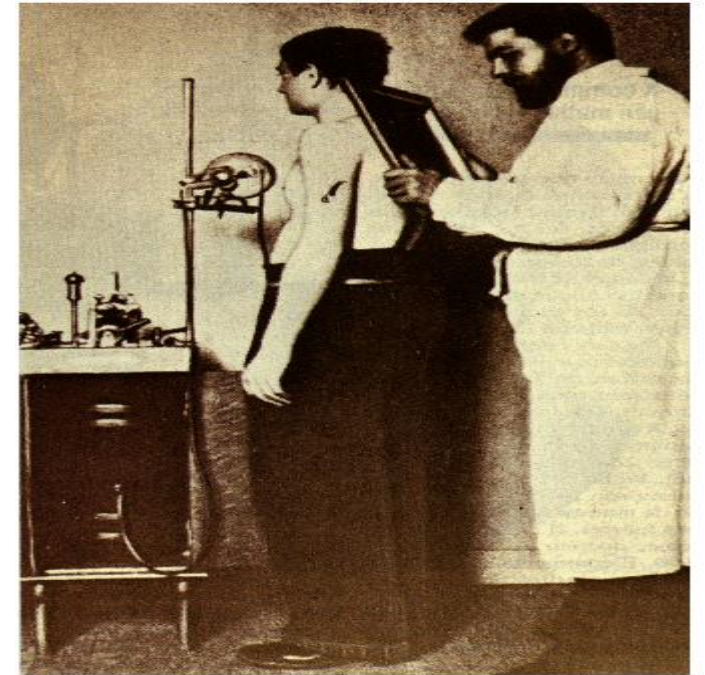


# La radioactivité naturelle et artificielle



# Première utilisation des Rayons X

- En 1895, la France se dote du premier laboratoire de radiologie grâce au docteur Bécclère qui a mis en place une installation de radioscopique.
- Au départ, il a été méprisé par ses collègues médecins qui lui reprochait de déshonorer la pratique médicale. Par après, il a été reconnu pionnier dans la diffusion de cette technique.



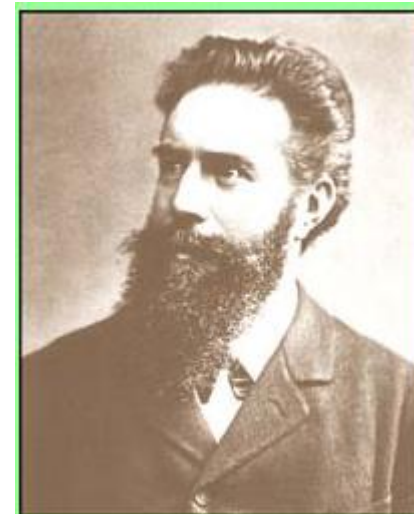
# Première utilisation des Rayons X

- Pendant la première guerre mondiale, Marie curie crée un service de radiologie aux armées.



# Historique des Rayons X

- William Röntgen a découvert les RX en 1895 de façon fortuite,
- Il va utiliser l'inconnu « X » de mathématique pour nommer ces rayons. ( rayonnement de röntgen)
- Il reçoit le prix Nobel en 1901



# Histoire des Rayons X

- La première radiographie: main de son épouse
- La recherche de Röntgen est utilisé en premier en dentisterie
- L'unité d'exposition en radiologie provient de Wilhelm, c'est le rem (de « Röntgen Equivalent Man ») de symbole rem.



# Première utilisation des Rayons X

- Les rayons X suscitent immédiatement un vif intérêt au sein du public : les premières radiographies font le tour du monde par voie de presse.



**AVIS**  
Pour répondre aux nombreuses demandes  
de notre clientèle, nous venons d'installer  
**UNE SALLE D'EXPERIENCES**  
pour la  
**Photographie par les Rayons X de Röntgen.**  
Répétition des expériences pour tout le monde les  
mardis et vendredis de 9 heures à midi. 8, rue de la  
Mairie - N° 2. Photographie de la main N° 1  
du pied N° 10. Toute autre photographie par les rayons X  
selon le temps de pose.  
**Comptoir de Photographie de la pharmacie de l'Ange  
à Mulhouse.**  
BMP<sup>™</sup> Plaques, Papiers, Produits et tous accessoires  
pour photographie. 2111

---

Sool-Bad und Kuranstalt  
Stetten  
Lauffen am Neckar  
(Württ.) **RAMSACH** -Telephon-  
— ist eröffnet! — 2108

# Législation

- La radioprotection fait l'objet d'une législation :
  - l'AR du 20/07/2001 portant règlement général de la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement contre le danger des rayonnements ionisants.

# Directive Européenne

- Directive 97/11/CE Euratom du conseil des communautés européennes concernant l'évaluation des incidences et certains projets publics et privés sur l'environnement
- Directive 97/43 Euratom du conseil du 30 juin 1997 relative à la protection sanitaire des personnes contre les dangers des RI
- Loi du 15 avril 1994 : transfert et attribution des compétences à l'AFCN et adoption des nouvelles normes de base européenne en matière de radioprotection

# Unités de mesure de la radioactivité

- L'activité d'une source radioactive est le nombre de désintégration qui se produisent par unité de temps dans une quantité donnée de radionucléide. L'unité légale est le Becquerel (Bq). Le Bq est une petite unité souvent Mbq.

$$A = \lambda * N$$

$\lambda$  = constante radioactive

N = nombre d'atomes présents

- Le Sievert (sv) souvent  $\mu$ sv permet d'évaluer les effets biologiques des rayonnements sur un organisme vivant exposé à la radioactivité.

# Unités de mesure de la radioactivité

➤ Période radioactive: c'est le temps nécessaire à la disparition de moitié d'un radionucléide. Après 2 périodes, le nombre d'atomes est divisé par 4 , après 10 périodes par 1024.

$$T = 0,693/\lambda$$

➤  $\lambda$  = constante radioactive

Exemple:  ${}_{18}\text{F}$        $T = 1,8 \text{ h}$

${}_{125}\text{I}$        $T = 8 \text{ jours}$

# Unités de mesure

- **Dose équivalente:** dose absorbée par le tissu ou l'organe T pondéré suivant le type de tissu et la qualité de rayonnement R.

-  $D_{T,R}$  est la moyenne pour l'organe ou le tissu T de la dose absorbée du rayonnement R.

$$H_{T,R} = w_R D_{T,R}$$

-  $w_R$  = Le facteur de pondération radiologique

*Valeurs du facteur de pondération radiologique  $w_R$*

L'unité de dose équivalente est le sievert.

Type de rayonnement	Energie	$w_R$
Photons	toutes énergies	1
Electrons, muons	toutes énergies	1
Neutrons	$E < 10 \text{ keV}$	5
	$10 < E < 100 \text{ keV}$	10
	$100 \text{ keV} < E < 2 \text{ MeV}$	20
	$2 \text{ MeV} < E < 20 \text{ MeV}$	10
	$> 20 \text{ MeV}$	5
Protons	$E > 2 \text{ MeV}$	5
Particules alpha, fragments de fission, noyaux lourds		20

# Unités de mesure

- **Dose efficace:** somme des doses équivalentes pondérées délivrées aux différents tissus et organes du corps.

$$E = \sum w_T H_T = \sum w_T \sum w_R D_{T,R}$$


où :

- $D_{T,R}$  est la moyenne pour l'organe ou le tissu T de la dose absorbée du rayonnement R;
- $w_R$  est le facteur de pondération radiologique, et
- $w_T$  est le facteur de pondération tissulaire valable pour le tissu ou l'organe T.

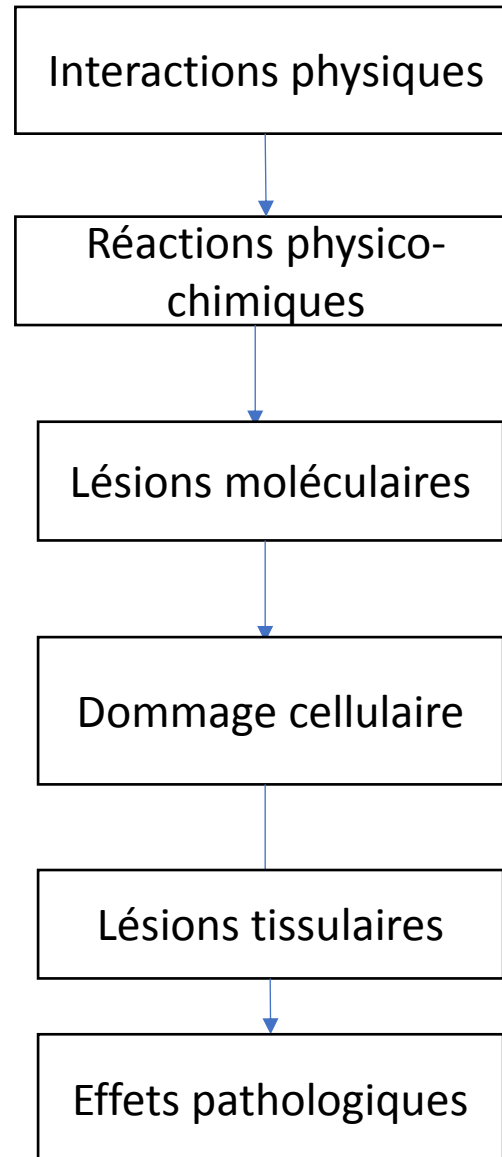
Valeurs du facteur de pondération tissulaires  $w_T$

Tissu ou organe	$w_T$
Gonades	0.20
Moelle rouge	0.12
Colon	0.12
Poumons	0.12
Estomac	0.12
Vessie	0.05
Seins	0.05
Foie	0.05
Œsophage	0.05
Thyroïde	0.05
Peau	0.01
Surface des os	0.01
Autres	0.05

---

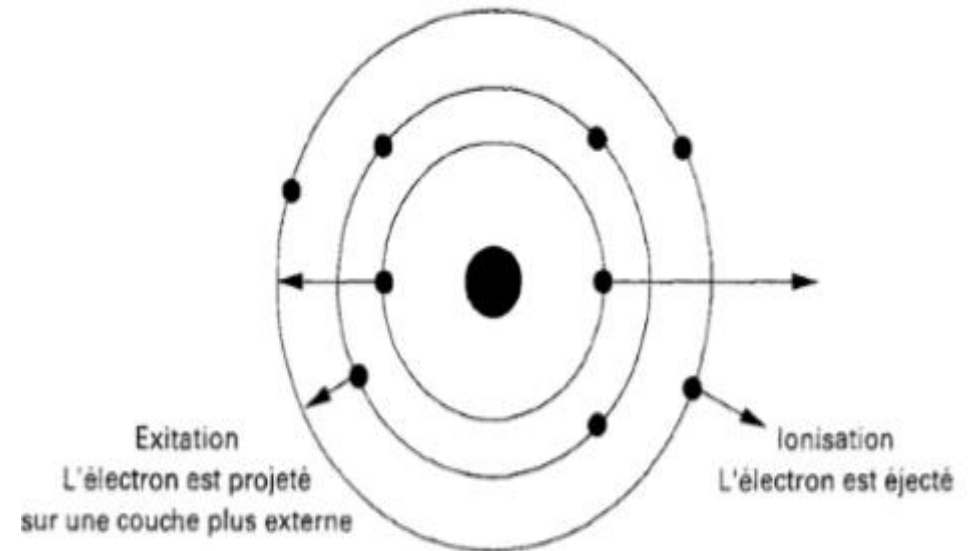
- **Débit de dose**= exprime une quantité d'énergie absorbée par Kg.
- 1 Gy= 1j/kg
- **Influence de la distance:**  le débit de dose décroît lorsque la distance augmente en  $1/R^2$
- A 2 mètres, l'exposition est divisé par 4 par rapport à 1 mètre,
- A 4 mètres, l'exposition est divisé par 16 par rapport à 1 mètre
- A 0,25 mètres, l'exposition est multiplié par 16 par rapport à 1 mètre
- Donc, il faut s'éloigner de la source radioactive

Les effets biologiques des rayonnements ionisantes résultent d'un transfert d'énergie vers la matière selon le schéma



# Les interactions physiques

- Il y a 3 types d'interactions possible:
  1. **Ionisation des atomes:** l'énergie du rayonnement incident est  $>$  à l'énergie de liaison des électrons  $\rightarrow$  un électron est arraché au cortège électronique
  2. **Excitation des atomes:** l'énergie du rayonnement incident est insuffisante pour arracher un électron mais suffisante pour faire passer un électron d'un niveau énergétique fondamental à un niveau énergétique supérieur,
  3. **Transfert thermique:** si l'énergie est insuffisante pour exciter un atome, elle peut augmenter l'énergie cinétique de translation, de rotation et de vibration de l'atome.



*Ionisation et excitation des atomes*

# Les réactions physico-chimiques

- Les phénomènes d'excitation et d'ionisation provoquent des réactions radiochimiques qui provoquent la libération de radicaux libres
- Un radical libre  $R^*$  présente un ou plusieurs électrons non appariés sur la couche électronique externe, ce qui lui confère une grande réactivité chimique.

# Lésions moléculaires

- **Lésions induites par transfert directe d'énergie:** l'énergie incidente est transférée à la molécule qui est ionisée ou excitée; L'énergie excédentaire est perdue par rupture de liaisons pouvant provoquer des radicaux libres et dissociation de molécules
- **Lésions induites par transfert indirecte d'énergie:** c'est l'action des radicaux libres formés de la dialyse de l'eau soit sur les cellules exposées ou voisines

# Dommmages cellulaires

- Ils peuvent être classés en 2 catégories:
- **Les effets déterministes** (non stochastiques)
- **Les effets aléatoires** (stochastiques)

# Les effets déterministes

Ils apparaissent à des seuils ( dose forte)

- ❑ Délai d'apparition : quelques minutes à quelques mois (nausées, radiodermites) en fonction de l'organe touché.  
⇒ réversibles si lésions pas très sévères
- ❑ Des effets secondaires peuvent même être observés des années après une irradiation (fibroses, cataracte).
- ❑ Les tissus les plus radiosensibles sont: les gonades, la peau, l'intestin

La valeur du seuil varie selon l'effet considéré

Exemple: pour l'érythème = 3,5Gy

stérilité si dose = 5 Sv sur les gonades

Effets sur les gonades (organes parmi les plus radiosensibles)

	Dose (*) (Gy)	Effets
Homme	0.3	diminution du nombre de spermatozoïdes
	2	stérilité transitoire
	> 6.6	stérilité définitive
Femme	7	troubles du cycle, stérilité chez femmes de 40 ans
	12 à 15	troubles du cycle, stérilité chez femmes de 25 ans

(\*) : dose unique délivrée à un débit supérieur à 10 Gy/min.

Effets sur la peau

Dose (*) Gy	Effets
3 à 8	Erythème
5 à 6	Epidermite sèche
15 à 20	Epidermite exsudative
25	Nécrose


<i>Exposition</i>	<i>Effets</i>
0,25 à 1 gray	Quelques nausées, légère chute du nombre de globules blancs
1 à 2,5 grays	Vomissements, modification nette de la formule sanguine
2,5 à 5 grays	Dose mortelle une fois sur deux, hospitalisation obligatoire
Au delà de 5 grays	Décès presque certain

# Les effets déterministes

- Effet sur le développement de l'embryon:




La radiosensibilité du fœtus et de l'embryon varie selon le stade de développement

- jusqu'au 9<sup>ème</sup> jour, l'irradiation a pour effet du tout ou rien

 soit la mort de l'embryon, soit la survie avec un développement normal

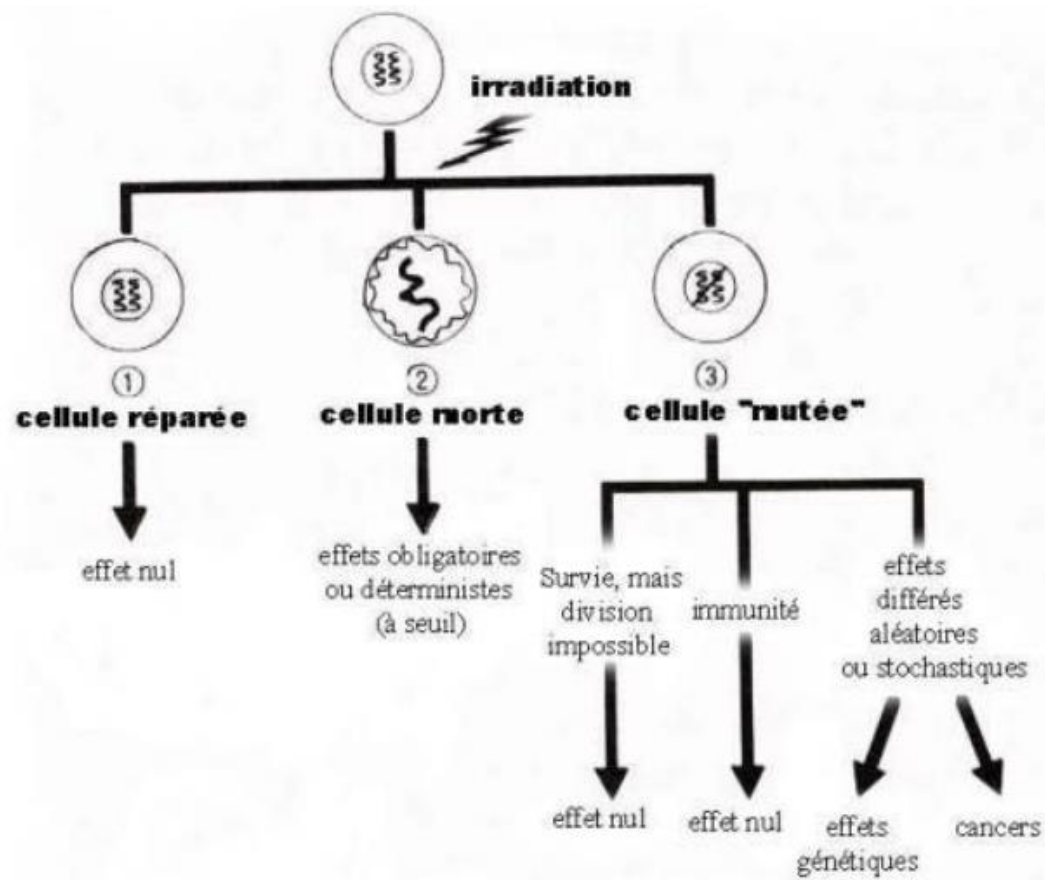
- du 9<sup>ème</sup> jour au 2<sup>ème</sup> mois ( différenciation cellulaire) : ça peut provoquer des malformations

# Les effets déterministes

- Par après, il y a une diminution de la gravité des malformations , néanmoins, le SNC reste très radiosensible  risque de retard mental.
- Si la dose est  $< 0,1$  sv  risque négligeable
- Si la dose est  $> 0,2$  sv  interruption thérapeutique de la grossesse

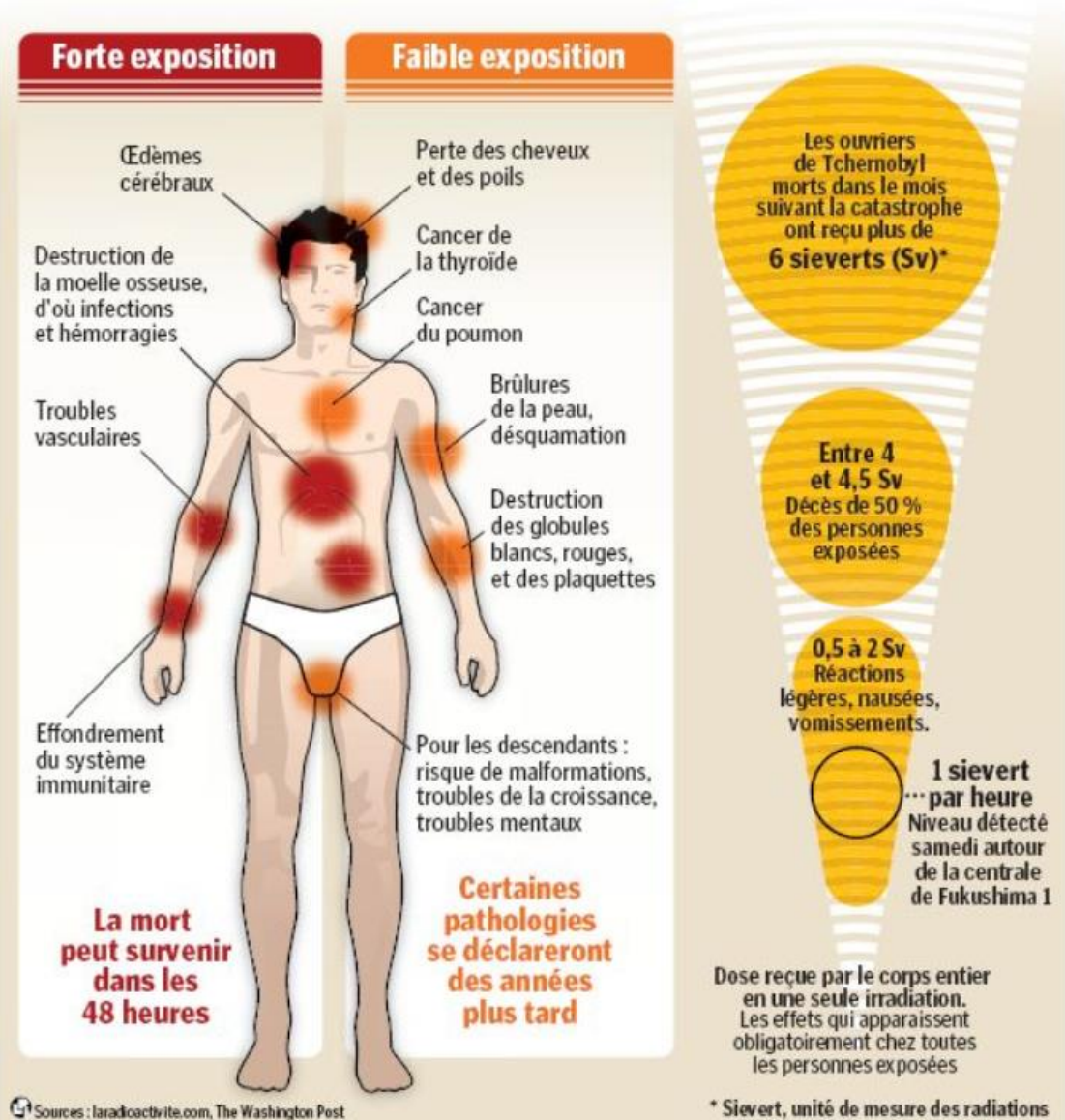
# Les effets aléatoires

- Ils apparaissent après une exposition à des doses faibles
- Ils se manifestent tardivement chez les personnes exposées (cancérogènes) et parfois chez les descendants( génétiques)
- il n'y a pas de seuil, toute dose comporte un risque

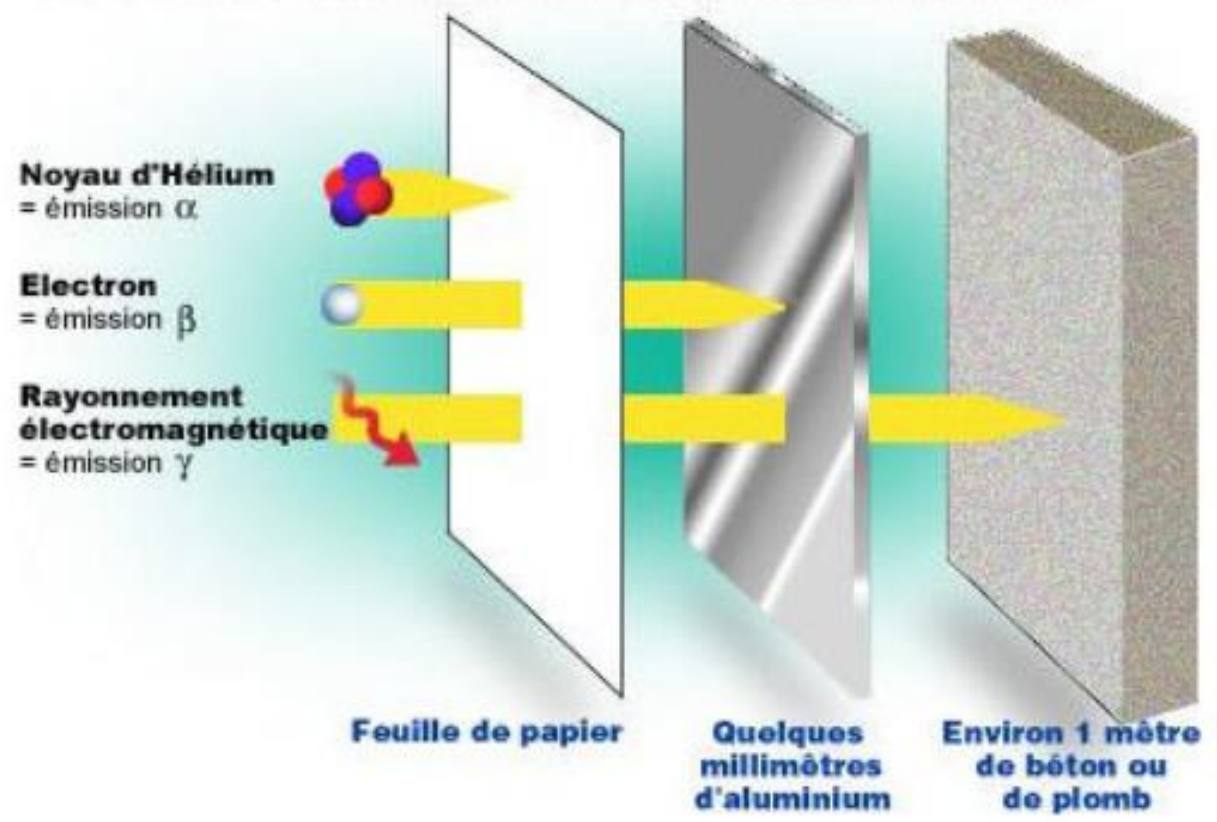


*Conséquences cellulaires de l'irradiation.*

# LES EFFETS DES RADIATIONS NUCLÉAIRES

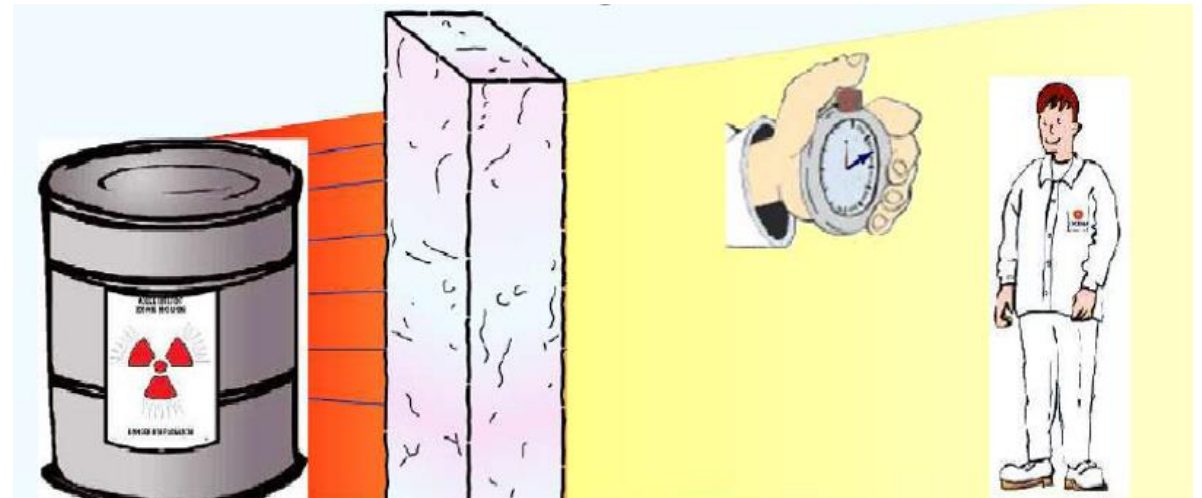


## Le pouvoir de pénétration des différents rayonnements



# Protection contre l'exposition externe

- **Réduire le temps d'exposition:**
- **La distance:** diminution de la dose en fonction de l'inverse du carré de la distance
- **Ecran** : adapté au rayonnement
- ALARA ( As Low As Reasonably Achievable)



	<b>Les effets déterministes</b>	<b>Les effets stochastiques</b>
seuil	Mis en évidence	Actuellement considéré comme égal à zéro
Sévérité	Proportionnelle à la dose	Indépendant de la dose
Type d'effet	Lié aux tissus	Cancer non-spécifique
Occurrence	Survient quand la dose est supérieure au seuil	Probabilité proportionnelle à la dose
Période de latence	Courte ou longue en fonction de tissu	Plusieurs années voire dizaines d'années
Réversibilité	Possible en fonction du tissu et de la dose	Non réversible

# Les modes d'expositions aux RI

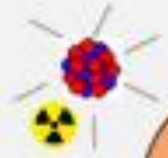
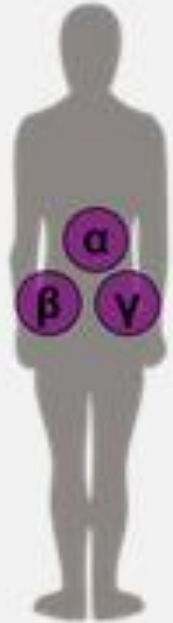
- 2 modes:
  1. **Irradiation**: la personne est soumise à des RI émis par une source radioactive
  2. **Contamination** : la source radioactive est rentrée en contact avec l'organisme:

# La contamination interne

- C'est la pénétration de substances radioactives à la surface par incorporation dans l'organisme
- Elle peut se produire par inhalation, ingestion, diffusion au travers de la peau



## Contamination par un radionucléide



Inhalation de  
particules en  
suspension  
dans l'air



Dépôt sur la  
peau, les  
cheveux ou les  
vêtements



Ingestion des  
denrées  
alimentaires  
contaminées

Rayonnements  
ionisants émis  
par les  
radionucléides  
contaminant le  
corps

# La contamination interne

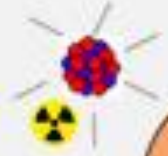
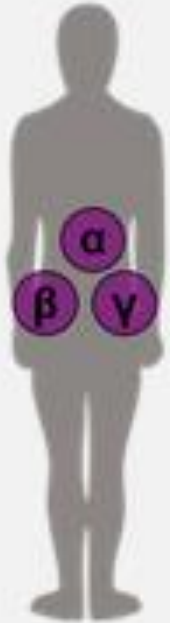
---

- Elle est la plus dangereuse car les atomes sont installés à demeure.

Exemple:

- l'eau et les aliments contiennent une infime proportion d'atomes radioactifs:
  - atomes de carbone-14 de l'atmosphère absorbés par la végétation, atomes de potassium-40 présents dans l'écorce terrestre, traces des radioéléments descendants de l'uranium dissous dans l'eau de montagne.

## Contamination par un radionucléide



Inhalation de  
particules en  
suspension  
dans l'air



Dépôt sur la  
peau, les  
cheveux ou les  
vêtements



Ingestion des  
denrées  
alimentaires  
contaminées

Rayonnements  
ionisants émis  
par les  
radionucléides  
contaminant le  
corps

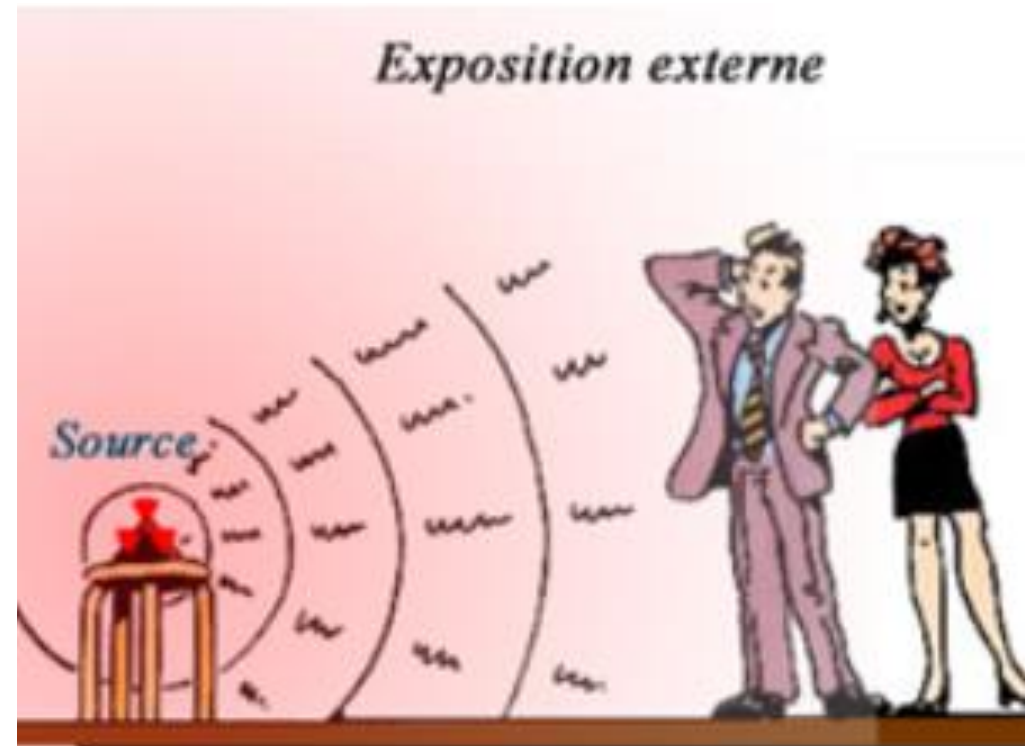
# La contamination interne

---

- Inhalation du radon ( descendant de l'Uranium)
- L'exposition par contact est rare : elle résulte d'un contact avec des matières contaminées par la radioactivité
- Si ces atomes radioactifs se fixent dans nos organes, nos glandes, nos os ou se déposent sur nos poumons, les effets de leurs désintégrations se font directement sentir

# La contamination externe

- Elle est moins dangereuse qu'une exposition interne à quantité égale d'un atome radioactif
- Elle résulte de l'exposition des rayons d'une source radioactive (principale source rayons gamma ) ou d'une source de rayons X.
- Pas de contact direct entre la source et la personne.



## Irradiation par une source externe



Déchets nucléaires



Scanner, radiographie



Le corps est  
exposé aux  
rayonnements  
ionisants  $\alpha, \beta, \gamma$   
sans être  
contaminé

# Moyens de protection contre l'exposition interne et externe

- Les écrans composés de matériaux ( plomb, aciers....) pour les rayons gamma et X et les écrans plus légers( Plexi) pour les rayons  $\beta$
- La distance
- Le temps
- Les équipements de protection individuelle et dosimètres



## Matériel de mesure



### **Dosimètre opérationnel**

Affiche en temps réel la dose reçue par l'opérateur

Unité : micro Sievert ( $\mu\text{Sv}$ )



### **Radiamètre**

Mesure la dose et le débit de dose

Unité : micro Sievert ( $\mu\text{Sv}$ )  
ou  $\mu\text{Sv/h}$



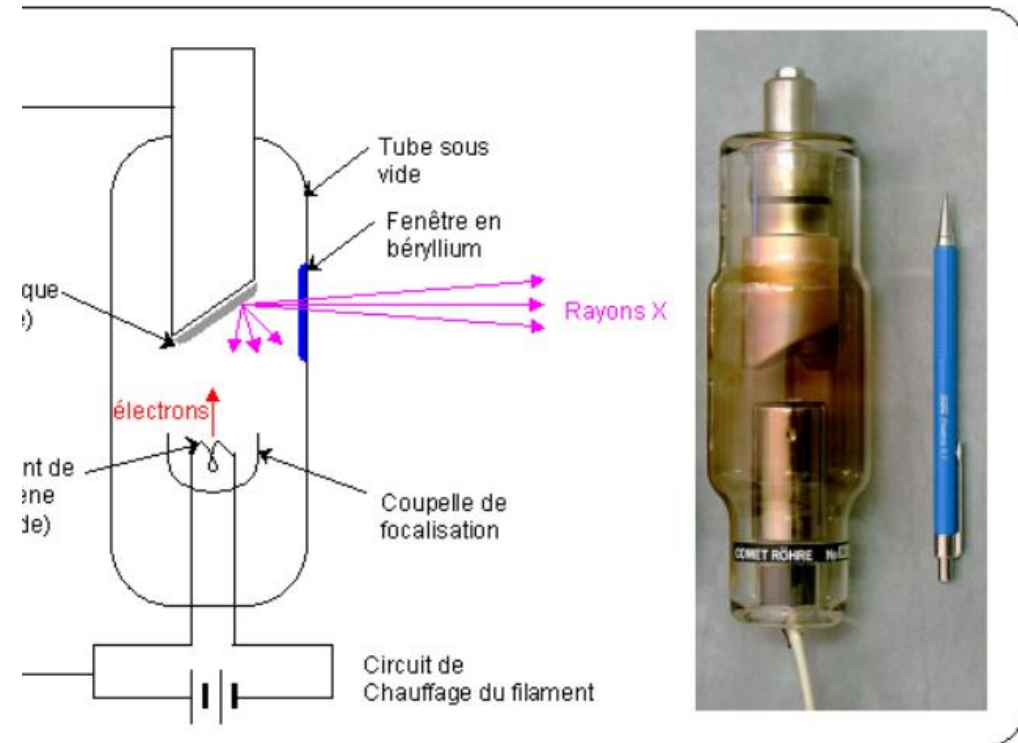
### **Contaminamètre**

Très sensible permet de mettre en évidence de petites quantités de radioactivité

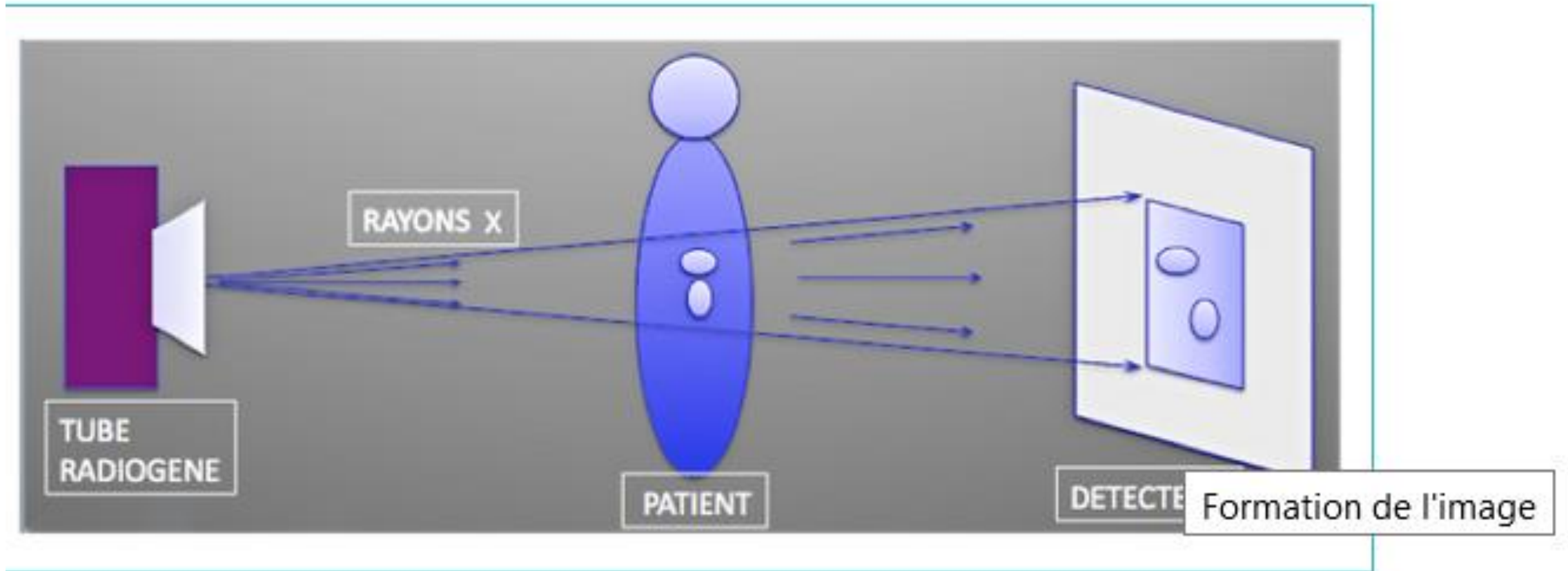
Unité : coups par seconde (cps)

# TUBE DE COOLIDGE

- En chauffant un filament en tungstène, on provoque l'excitation des électrons.
- Ces électrons sont accélérés par une forte différence de potentiel et envoyés vers une anode généralement en tungstène. L'interaction des électrons avec l'anode entraîne la formation de rayons X.
- Ces photons sont canalisés pour former un faisceau de rayons X.
- Rendement faible: 1% (99% de chaleur).



# Formation de l'image



# Les dispositifs médicaux émettant des rayons x

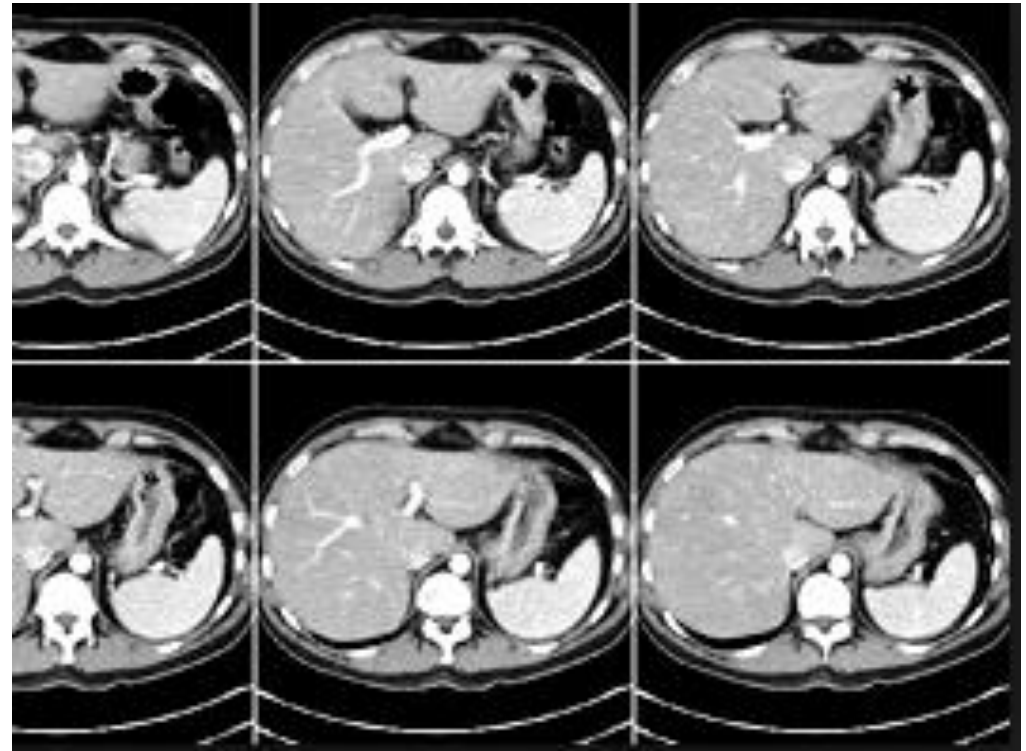
- Scanner ou tomodensitométrie: explore un volume de corps et fournit une image 3D
- Temps d'acquisition court
- Structure anatomique des tissus
- Métabolisme des tissus ou organes

Exemple: muscles, vaisseaux, tumeurs....



## Les dispositifs médicaux émettant des rayons x

- Ex: scanner abdominale:  
image  
anatomique et métabolique



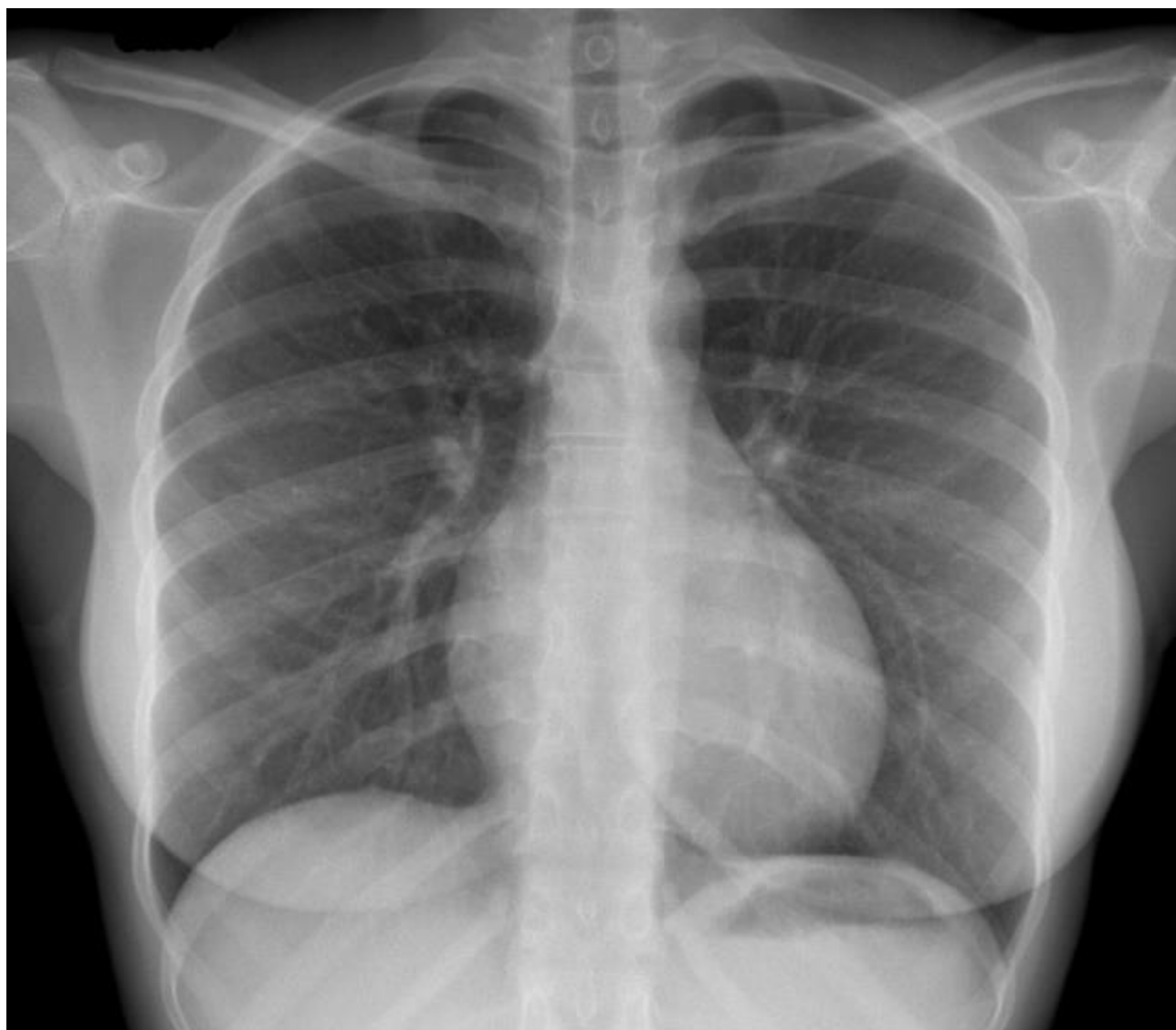
- 
- Table télécommandée de radiologie conventionnelle:
  - C'est l'examen le plus courant : Les rayons X traversent le corps humain. Ils sont atténués par les liquides et les gaz
  - Donc une structure aérée va apparaître noire et une structure osseuse (dense) va apparaître blanche.

Ex: -Radiographie du thorax

- Radiographie des mains

Ce sont des images anatomiques en 2D



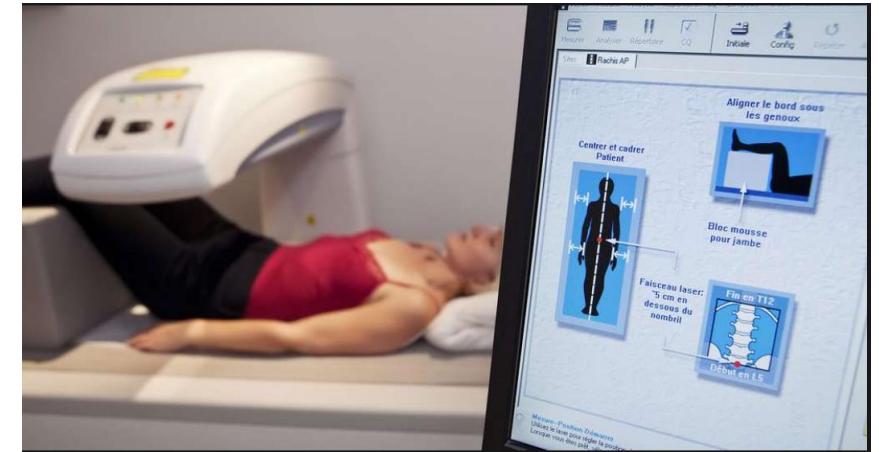




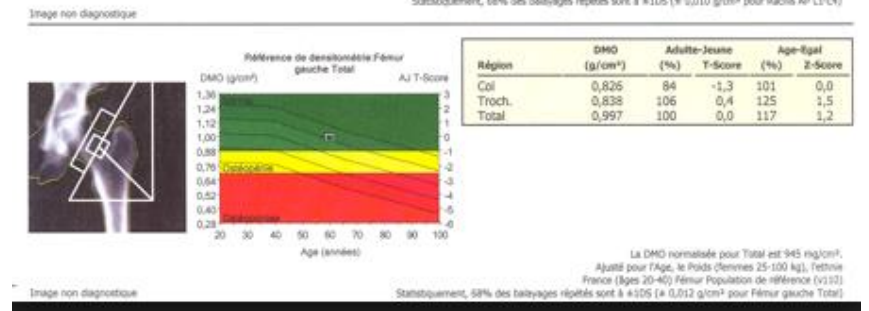
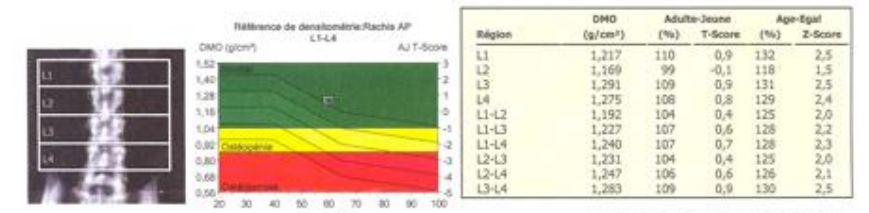


- Mammographe:

- Ostéodensitométre: utilise les rayons X
- Permet de quantifier la perte osseuse: détecter l'ostéoporose
- C'est un examen simple, peu irradiant, indolore
- L'analyse se fait au niveau lombaire et hanche.



Date de naissance : 07/07/1952 59,9 ans  
 Taille / Poids : 151,0 cm 63,0 kg  
 Sexe / Ethnie : Femme Blanc  
 Mesuré : 13/06/2012 10:15:06 (12,30)  
 Analysé : 13/06/2012 10:18:58 (12,30)



- Angiographe: c'est pour les examens interventionnels tels que : angiographie cardiaque qui permet de visualiser les artères coronaires en injectant du produit de contraste.



# La médecine nucléaire

- C'est une technique d'imagerie médicale fonctionnelle qui fournit des informations sur les modifications métaboliques au sein des organes
- Il s'agit d'un examen sans danger et non invasif
- La scintigraphie requiert l'administration au patient, par voie intraveineuse, orale ou par inhalation d'une substance marquée par un isotope radioactif dans un but diagnostique ou thérapeutique
- A l'aide d'un détecteur externe ( Gamma caméra) , la répartition de la radioactivité dans l'organisme est mesurée et visualisée sous forme d'une image scintigraphique.
- Contre indications: grossesse et allaitement

# La médecine nucléaire

---

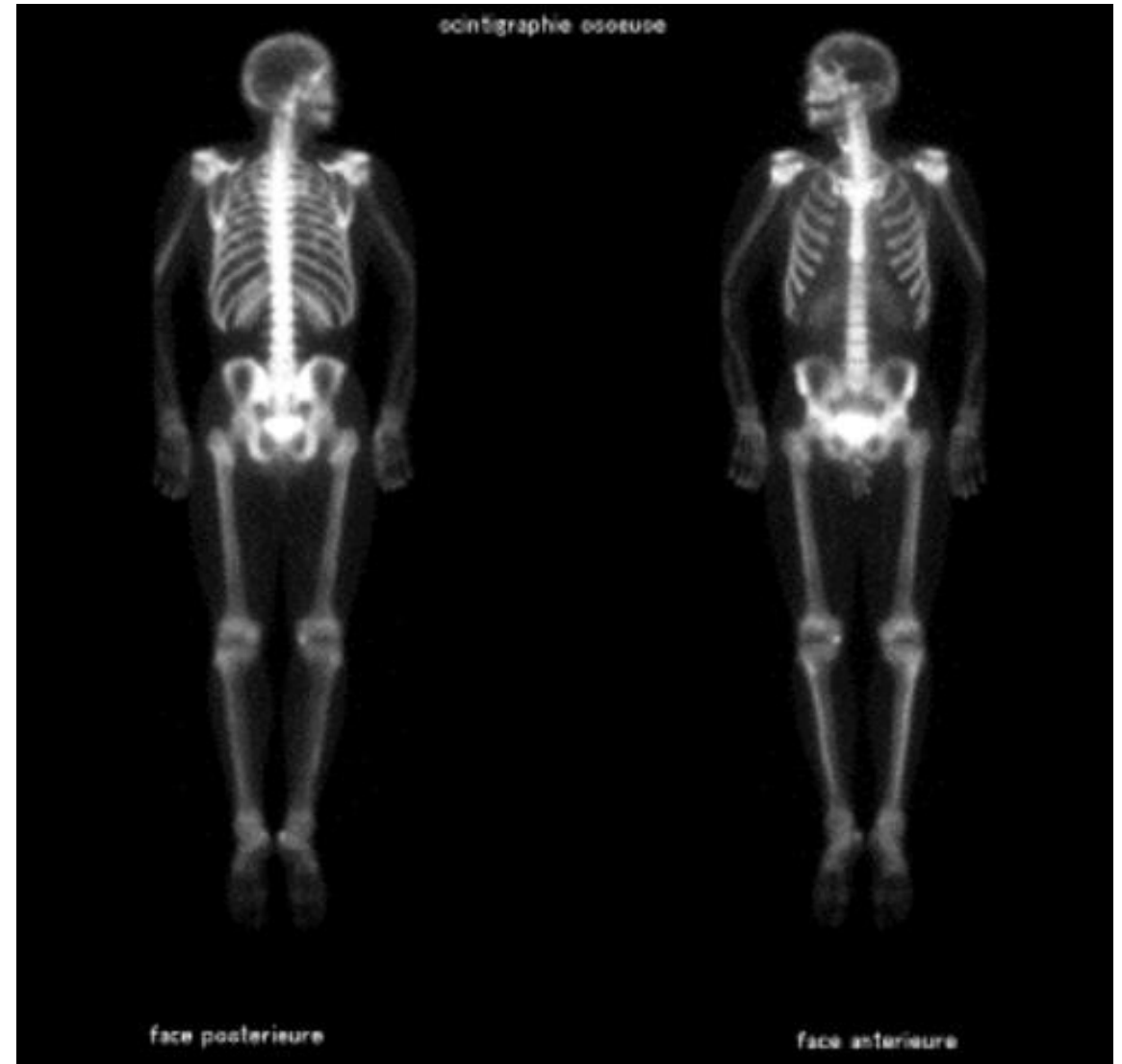
Le marqueur radioactif émet des rayons gamma

---

Le radiopharmaceutique ( traceur) = isotope radioactive + vecteur ( molécule froide)

Le but du vecteur est d'acheminer l'isotope à l'organe que l'on souhaite explorer.

- Le  $^{99}\text{Tc}$  (technétium) est le radiotracer le plus utilisé puisqu'il a des caractéristiques physiques presque idéales (demi-vie de 6 heures, énergie gamma moyenne).
- Exemple: la scintigraphie est utilisée au niveau du cœur pour étudier la perfusion du myocarde (flux sanguin arrivant dans le muscle cardiaque) dans l'exploration des maladies coronaires)
- au niveau de l'os dans le diagnostic de fractures, fissures, inflammations du squelette
- Le radionucléide de base utilisé pour les procédures thérapeutiques est l'iode 131.



# La Gamma caméra








# Délimitation des zones contrôlées et surveillées

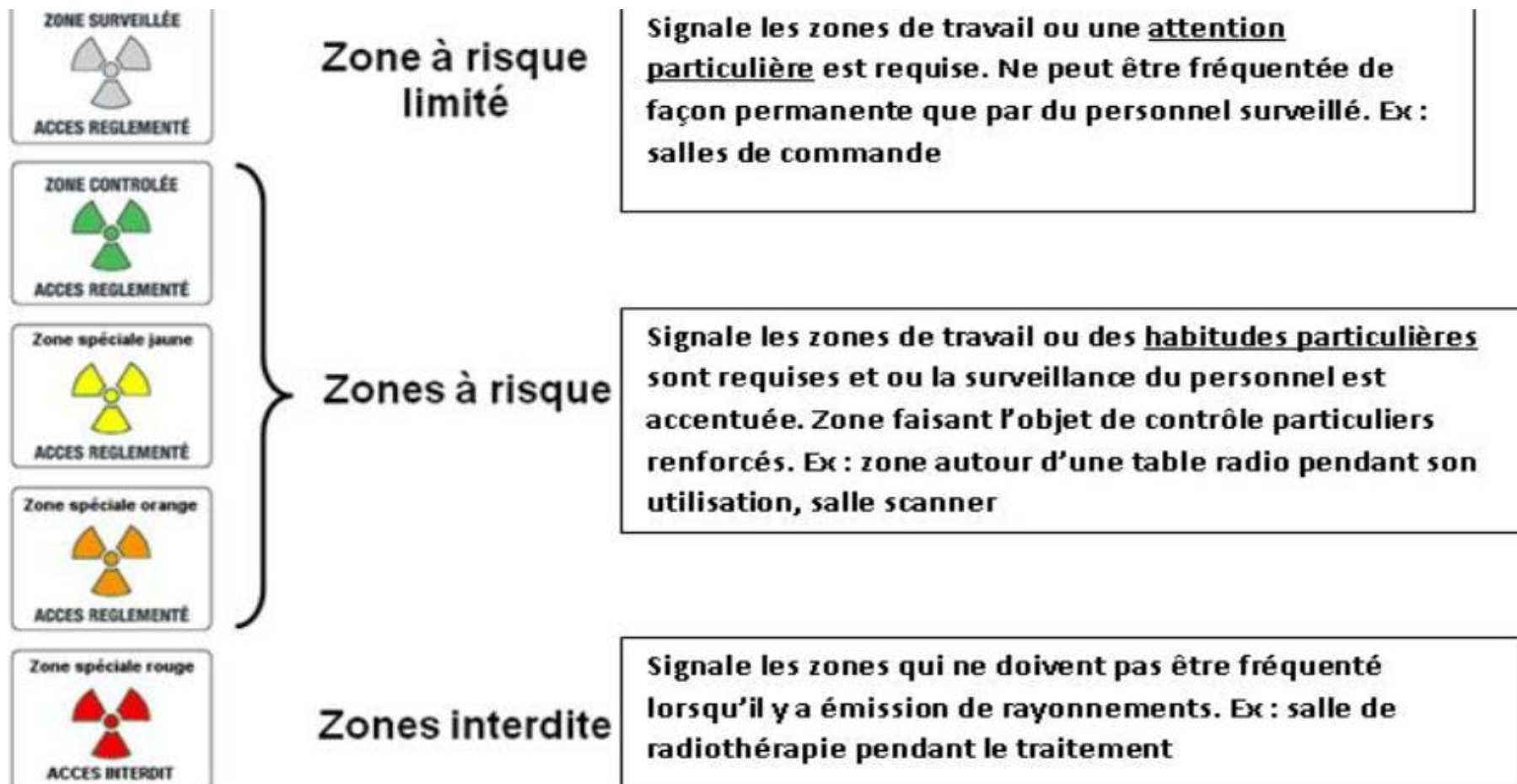
- Les locaux dans lesquels les radionucléides sont susceptibles d'être manipulés sont classés en zone contrôlée:
  - Zone de réception des produits radioactifs
  - Laboratoire chaud
  - La salle d'administration des radionucléides
  - La salle d'examen
  - Zone d'entreposage des déchets solides et liquides



# Les différentes zones dans un service de médecine nucléaire

					
Zone	Zone surveillée	Zone contrôlée verte	Zone jaune	Zone orange	Zone rouge
Dose efficace pour l'organisme entier	< 7,5 $\mu$ Sv sur une heure d'exposition	< 25 $\mu$ Sv sur une heure d'exposition	< 2 mSv sur une heure d'exposition max 2mSv/h	< 100 mSv sur une heure d'exposition max 100 mSv/h	> 100 mSv sur une heure d'exposition > 100 mSv/h
Dose équivalente pour les extrémités ou doses	< 0,2 mSv sur une heure d'exposition	< 0,65 mSv sur une heure d'exposition	< 50 mSv sur une heure d'exposition	< 2500 mSv sur une heure d'exposition	> 2500 mSv sur une heure d'exposition

# Les différentes zones dans un service de médecine nucléaire




## Mesures concernant les locaux en zone contrôlée

- Le revêtement des sols, des murs et des surfaces de travail doivent être lisse et imperméables sans joint et facilement décontaminables
- La ventilation doit être indépendante du système général de ventilation et doit permettre une mise en dépression des locaux et un renouvellement d'air
- Les éviers doivent comporter des robinets à commande non manuelle reliés à des cuves de décroissance
- Un guichet pour le transfert des sources entre le laboratoire chaud et la salle d'injection

# Mesures concernant les locaux en zone contrôlée

- La salle d'injection relié à une cuve de décroissance
- Les hottes et enceintes blindées de préparation des sources sont équipées de gants et de ventilation indépendant avec filtre
- Du matériel de détection des contaminations et de mesure du champ de rayonnement doit être présent, entretenu et contrôlé.
- L'accueil, le secrétariat, les bureaux, la salle de détente du personnel doivent être implanté en zone non réglementé

# Mesures concernant les déchets radioactifs

- Ils peuvent être de nature solide (objets souillés, matériels piquants) ou liquides (sang, urines...)
- Pour **les déchets solides**: dépôt dans des réceptacles adaptés( pots à aiguilles, sacs jaunes)  inscrire le contenant : date, type de radionucléide
  - Entreposage dans le local de l'unité de médecine nucléaire conçu à cet effet
- Tenue d'un registre permettant d'assurer la traçabilité des déchets.
- L'ONDRAF: c'est l'organisme qui est chargé de la gestion des déchets radioactifs en Belgique

# Mesures concernant les déchets radioactifs

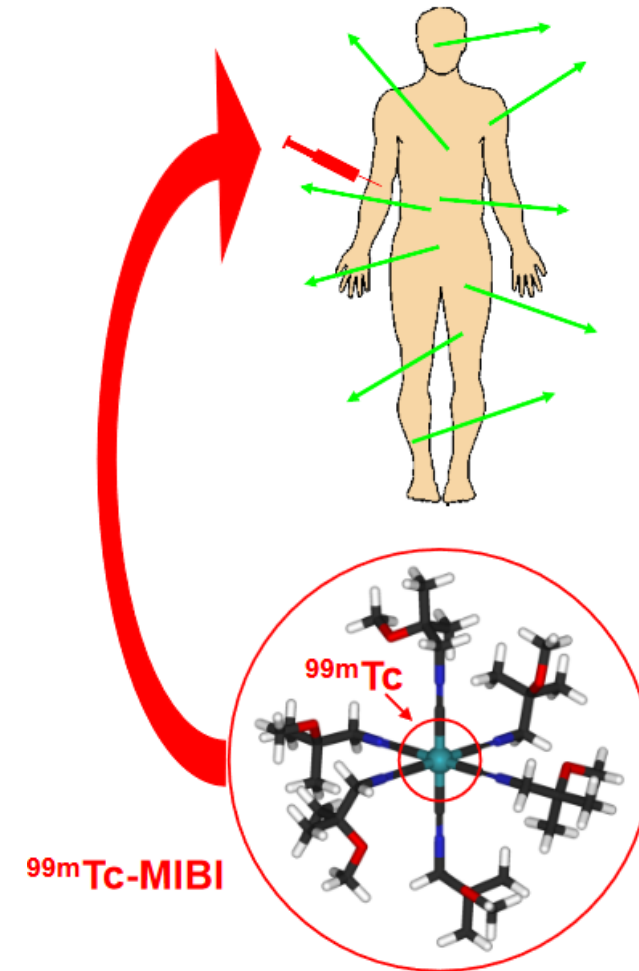
- Pour **les déchets liquides**: stockage dans des cuves de décroissance facilement décontaminables , situés dans un local correctement ventilé et fermé à clé
- Tenue d'un registre réservé à la gestion des cuves où sont consignés:
  - la nature du radionucléide
  - Activités initiales
  - Temps de séjour requis
  - Dates ce début
  - Dates de fin de remplissage et de vidange des cuves
  - Les résultats de contrôle
  - Sanitaires réservés aux patients injectés: présence d'une fosse interposée entre les sanitaires et le collecteur de l'établissement afin d'éviter un rejet direct dans le réseau de l'assainissement

# Contrôle régulier

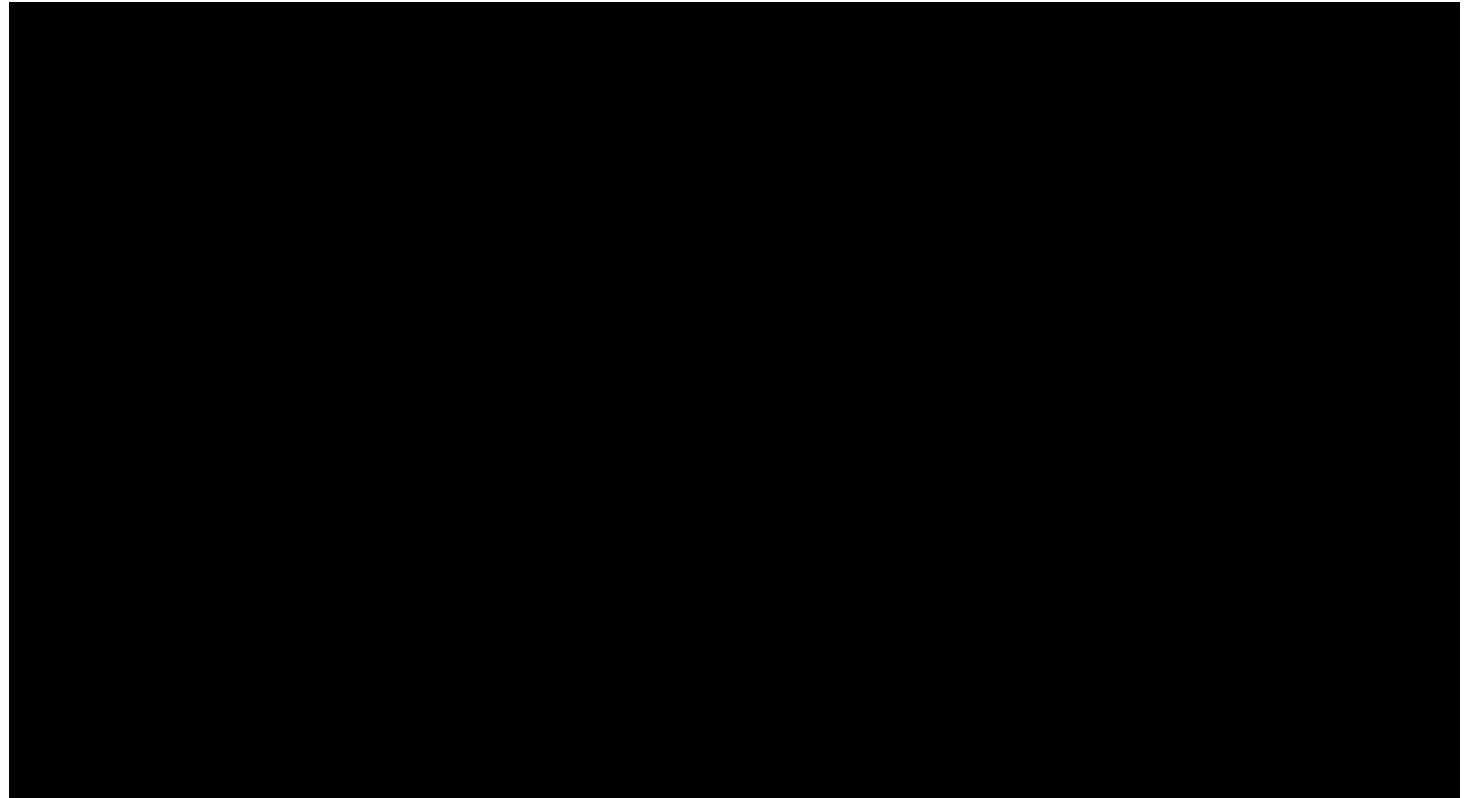
- Du matériel de détection
- De sources non scellées
- Des hottes et enceintes
- La ventilation
- Filtres

# La radioprotection en médecine nucléaire

- En médecine nucléaire, la « justification » consiste à n'irradier que si vraiment une information utile est escomptée pour les soins du malade et « l'optimisation » à irradier le mieux possible en limitant autant que possible la dose.



Les mesures de  
protection pour  
le travailleur



# Les mesures de protection pour le travailleur

- Le port de gants à usage unique à chaque manipulation de source radioactive
- Lavage régulier des mains
- Port de vêtement de travail et surchaussures
- Utilisation de pinces longues pour la manipulation des flacons de radionucléides
- Ecrans de protection pour :
  - le protège seringue
  - le protège flacons
  - écrans plombés
- Les 3 règles: distance, temps et écrans
- Dosimètre au niveau de la poitrine, poignet et bague
- Dosimètre actif en zone contrôlée verte

# Les mesures de protection pour le travailleur

- Une visite médicale une fois par an pour les travailleurs
- Le personnel féminin doit déclarer au plus vite sa grossesse au médecin du travail afin d'adapter le poste pour ne plus être en contact avec les sources non scellées
- Aucune femme enceinte ne peut être affectée à un poste de travail comportant un risque d'exposition interne à des RI.

# Les mesures de protection pour le patient

- La justification
- L'optimisation: les doses reçues doivent être les plus basses possibles (ALARA)
- La limitation des doses à injecter ne doit pas dépasser les limites d'exposition réglementaires

# Que faire en cas de contamination

- En médecine nucléaire, il y a un risque de contamination à cause de la manipulation de sources non scellées.
- En cas de **contamination externe**:
- Déshabillage -mettre les vêtements dans un sac jaune –stockage
- 2 à 3 lavages à l'eau+ savon décontaminant
- Séchage + habillement non souillé
- Évaluer la dose
- En cas de contamination des yeux : rincer abondamment au sérum physiologique






# Que faire en cas de contamination

- En cas de **contamination interne**: par ingestion ou inhalation
- Le risque dépend de la :
  - dose intégrée
  - Radioélément
  - État physiologique
  - Il faut consulter le médecin de travail et répertorier la contamination dans un registre

# Résumé

## Se protéger pour préserver sa santé

### Signalisation des zones radioactives


 Zone à risques limités	 Zones à risques	 Zones à risques	 Zones à risques	 Zone interdite
--	--	--	--	---

Se reporter au règlement de zones établi par l'établissement

### TEMPS/ ECRAN / DISTANCE

#### Adapter son comportement

- Limiter le temps d'exposition
- S'éloigner de la source
- Utiliser les moyens de protection

→ 

#### PROTECTION COLLECTIVE

- Murs renforcés
- Portes blindées

L'architecture des locaux à risques est en adéquation avec la norme : NF ISO 9404-1

#### PROTECTION INDIVIDUELLE

- Tablier
- Paravent
- Lunette et gant plombés

### DOSIMETRE

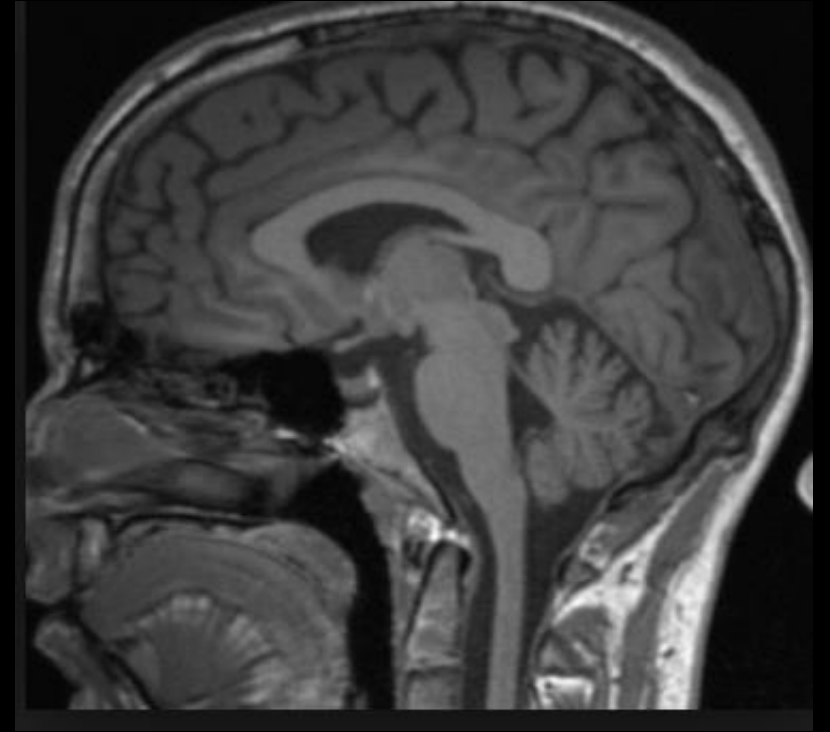
**INDIVIDUEL, NOMINATIF, NON CESSIBLE**

Catégorie A: 20mSv/an    Catégorie B: 6mSv/an    Public: 1mSv/an

Les limites annuelles d'exposition pour les travailleurs sont définies réglementairement (décret du 31/03/2003)


# L'IRM

- utilise des champs magnétiques et des ondes radio pour produire des images de fines coupes des tissus (images tomographiques)
- Applications: IRM de diffusion , de perfusion et fonctionnelle.



- **Contre indications:**

- La présence d'objets métalliques dans le corps: métal ferromagnétique
- Dispositifs médicaux activés magnétiquement ou contrôlés électroniquement (p. ex., stimulateurs cardiaques, défibrillateurs implantables, implants cochléaires) qui peuvent dysfonctionner lorsqu'ils sont exposés à des champs magnétiques.

 Le champ magnétique peut induire un courant dans tout matériau conducteur qui est assez fort pour produire assez de chaleur pour brûler les tissus.

- Pacemaker: il doit être compatible
- Grossesse inférieure à 3 mois
- Claustrophobie

# L'échographie

- C'est une technique d'imagerie médicale qui utilise des ultrasons
- consiste à **appliquer une sonde contre la peau** en face de l'organe à explorer. Cette sonde émet **des ultrasons** qui traversent les tissus et sont renvoyés sous la forme d'un écho.
- Ce signal est recueilli et analysé par un système informatique qui retransmet en direct une image sur un écran vidéo.
- **Avantage:** technique indolore, sans contre indications et sans danger pour le foetus

# Produit de contraste

- Le groupe des produits de contraste iodés (PCI) comprend les produits de basse osmolalité et les produits de haute osmolalité.
- Ce sont des médicaments injectés dans le corps par voie intraveineuse pour augmenter la visualisation d'un tissu, vaisseaux, cavités, parenchyme par rapport à son environnement
- En scanner et en imagerie par rayons X, on utilise des produits iodés: contenant de l'iode, qui les rendent visibles sous la forme d'un signal blanc sur l'image.

# Effets secondaires

- Réactions allergiques: œdème laryngée, bronchospasme ....
- Nausées et vomissements
- Sensation de chaleur
- Douleur au niveau du point de ponction dû à l'irritation de l'endothélium vasculaire
- réactions cutanées : prurit, urticaire.
- Instabilité hémodynamique
- Hypo- ou hyperthyroïdie chez les patients qui ont un trouble thyroïdien

## Effets secondaires

- Néphrotoxicité : est une insuffisance rénale aiguë par nécrose tubulaire aiguë liée à des modifications hémodynamiques intra rénales et à une toxicité tubulaire directe de l'iode sur les cellules épithéliales tubulaires
- Réactions anaphylactiques


- Extravasation par rupture de la paroi vasculaire lors de l'injection: elle peut être tolérée si elle limitée mais elle peut être à l'origine de sérieuses complications du fait des propriétés physico-chimiques des produits de contraste iodés:
  - nécrose tissulaire
  - Syndrome compressif des structures vasculaires et nerveuses



# Précautions en cas d'injection

- Dosage de la créatinine :  $GFR > 60$ . Si le patient est en insuffisance rénale , il faut bien s'hydrater dans les 24 heures qui suivent
- Antidiabétique oraux (Metformine): il faut arrêter dans les 48 heures qui suivent
- Allaitement : à arrêter pendant les 24h qui suivent l'injection.
- A jeûne 4 heures avant l'examen

# Produit de contraste

- En IRM, on utilise le Gadolinium qui a un effet paramagnétique très élevé. Il a les caractéristiques nécessaires pour modifier les contrastes.
- Pour être utilisé comme un agent de contraste, le Gadolinium doit être relié à une molécule vectrice.
- Il est éliminé par les reins  80% de la dose initiale est excrété par cette voie dans les 6h qui suivent l'injection

## Effets secondaires

- Céphalées, vertiges ou nausées.
- Fibrose systémique néphrogénique chez des patients atteints d'insuffisance rénale