



ECOLE DES ACCELERATEURS 2016
29950 BENODET

RADIOPROTECTION

Denis OSTER
SCR IPHC Strasbourg

SOMMAIRE

Classification et caractéristiques des rayonnements

Origine des rayonnements

Décroissance radioactive

Désintégration alpha (α)

Désintégration bêta (β)

Emission de photons (γ, X)

Capture électronique/Conversion interne

Emission de neutrons

Exemple de schémas de désintégration

Interactions des rayonnements dans la matière

Arrêt/ Atténuation des rayonnements

Unités, grandeurs de mesures en radioprotection

Les effets biologiques

Les principes de la radioprotection

Evaluation de la dose efficace

Valeurs limites d'exposition

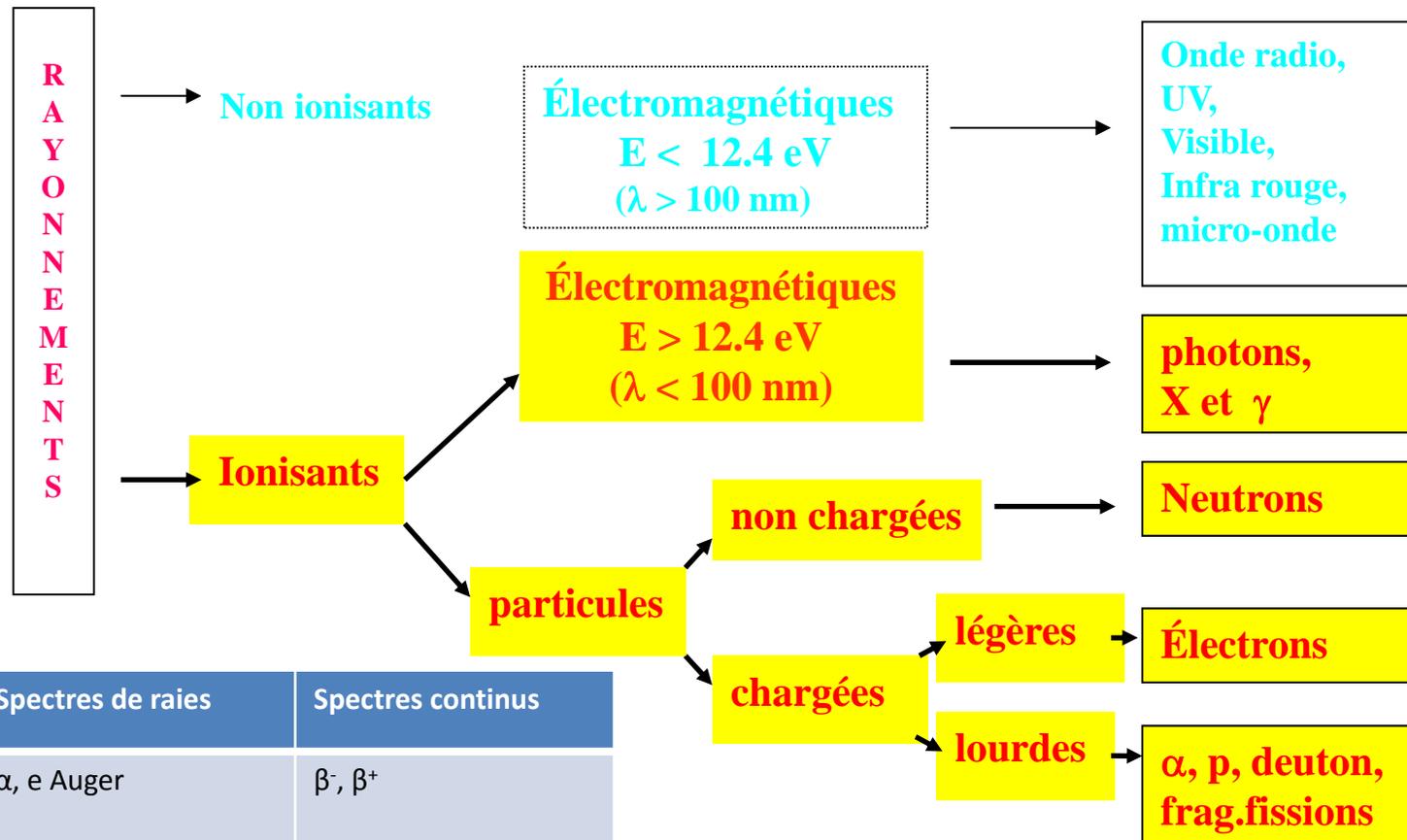
Le zonage, la signalisation

Les moyens de protection

Radioprotection auprès des accélérateurs

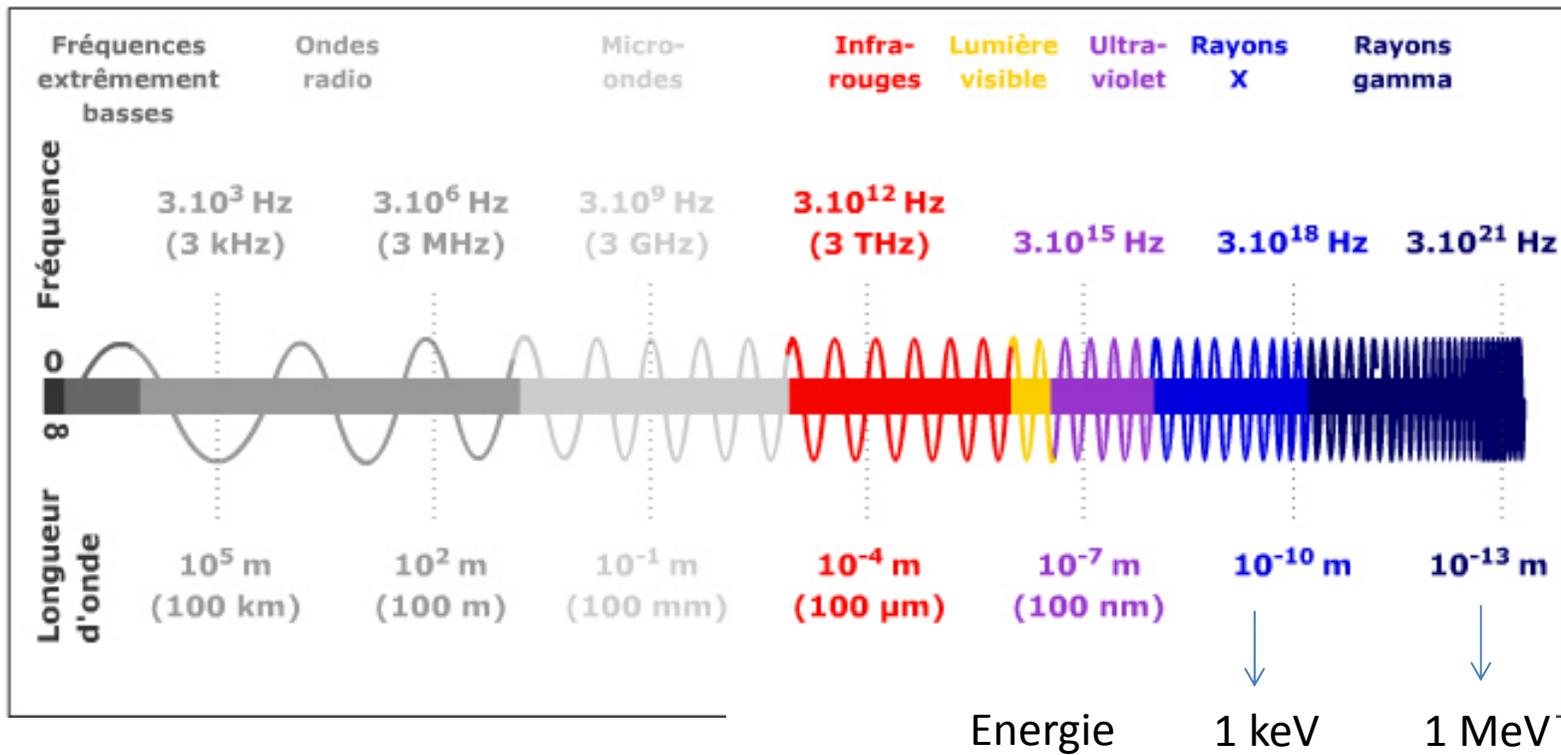
Classification et caractéristiques des rayonnements

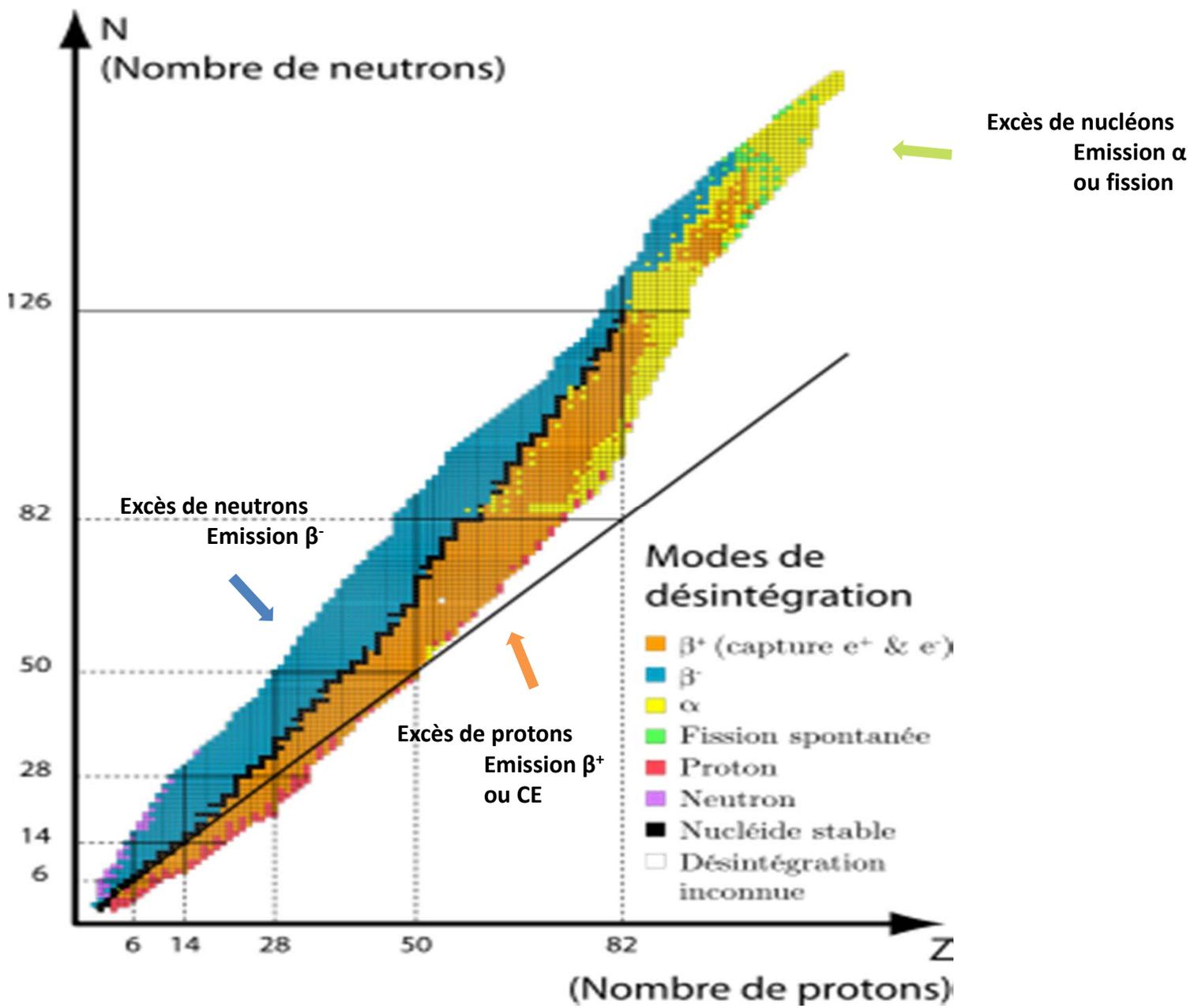
Selon leurs effets sur la matière



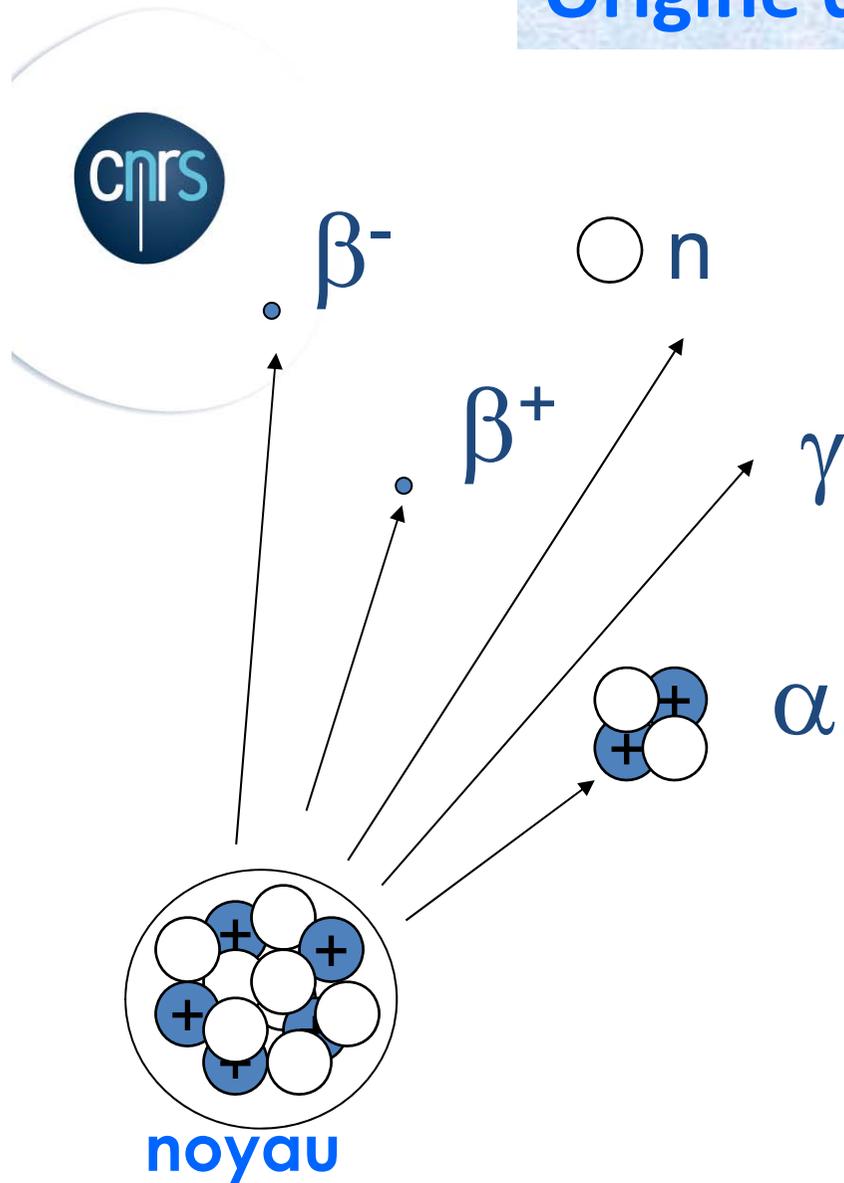
Rayonnement	Spectres de raies	Spectres continus
Directement ionisant	α, e Auger	β ⁻ , β ⁺
Indirectement ionisant	γ, X de fluorescence	X de freinage, Neutrons

Spectre des rayonnements électromagnétiques

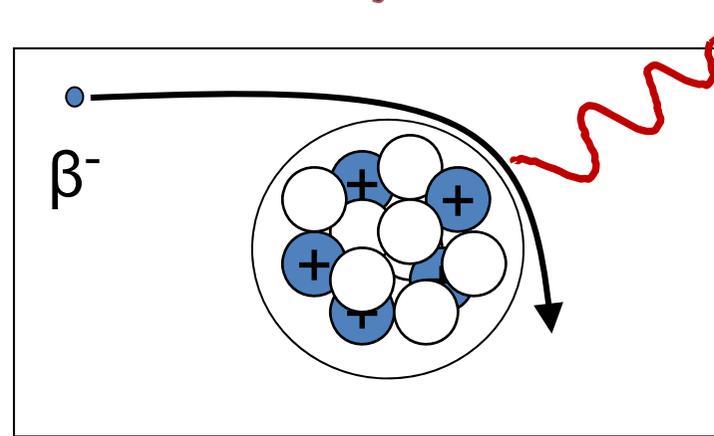




Origine des rayonnements

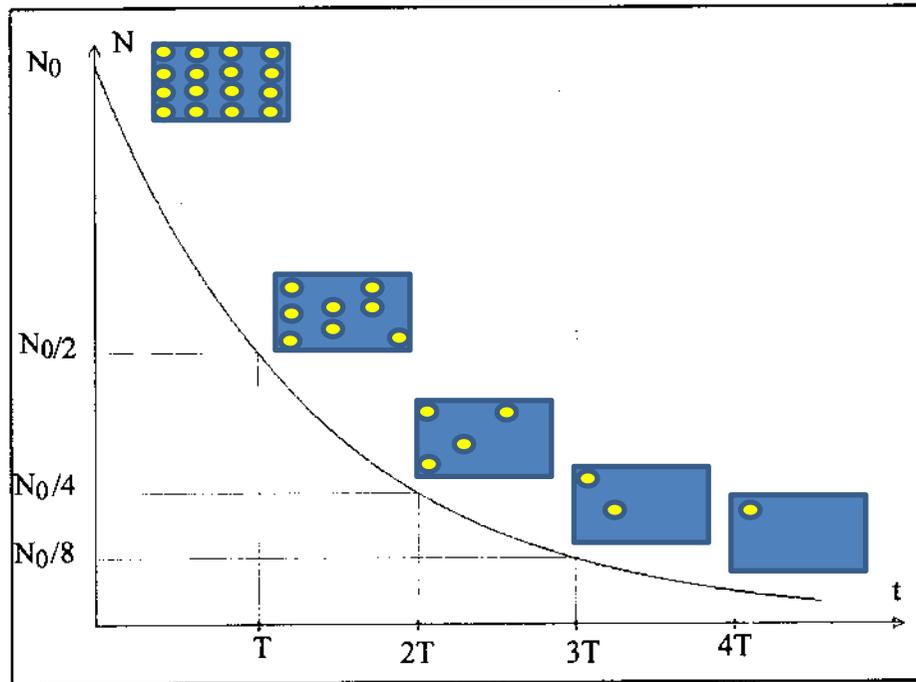


rayonnement X de freinage



Cortège électronique

Décroissance radioactive



Décroissance radioactive

$$A = \lambda N$$

Avec :

A= activité en Bq

N = nombre de noyaux radioactifs

λ = constante radioactive = $\frac{\ln(2)}{T}$

T= Période radioactive

$$A = \frac{A_0}{2^n}$$

Avec :

A= activité à l'instant t

A₀= activité initiale

n= nombre de périodes écoulées entre t et t₀

Exemple

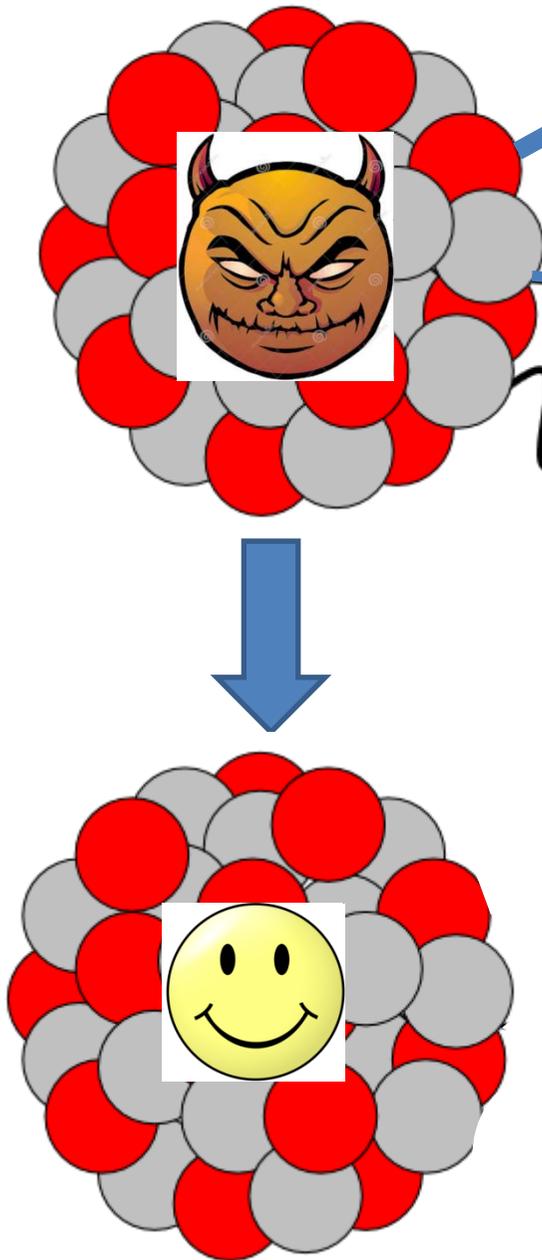
Si $N = N_0 = 1$ milliard de noyaux radioactifs de Co-60 ($1 \cdot 10^9$) $T = 5,27$ ans

alors $A_0 = \frac{\ln(2)}{T} \times N = 4,2$ Bq (4,2 désintégrations par seconde)

Au bout de 20 ans il restera : $n = \frac{20}{5,27} = 3,8 \rightarrow A = \frac{A_0}{2^{3,8}} = \frac{4,2}{13,9} = 0,3$ Bq

Atome instable

Transformation spontanée

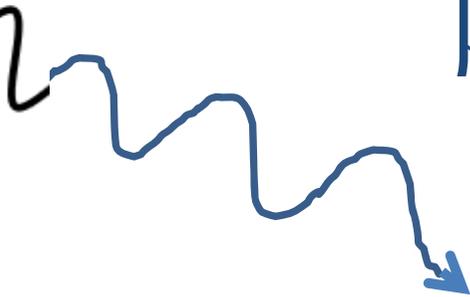


α



β^-

β^+

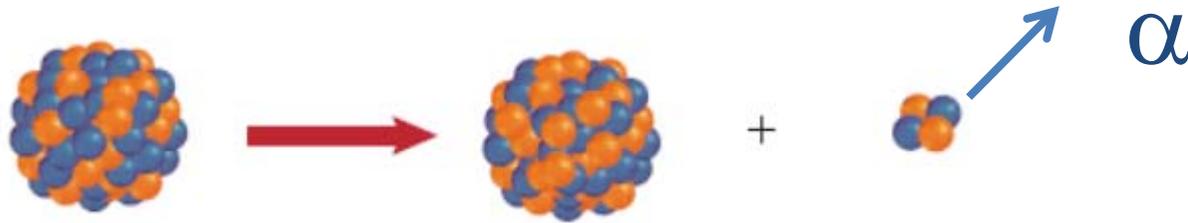


γ

Emissions de rayonnements

Atome stable ou moins excité 8

Désintégration alpha (α)



Ra-226

88 protons
138 neutrons

Rn-222

86 protons
136 neutrons

*Noyaux « lourds », masse > 200
Excès de nucléons*

U-238

92 protons
146 neutrons

Th-234

90 protons
144 neutrons

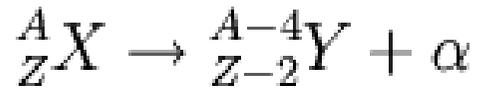
Am-241

95 protons
146 neutrons

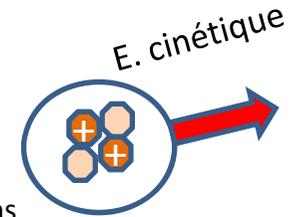
Np-237

93 protons
144 neutrons

Désintégration alpha (α)



α = noyau d'He



Spectre de raies : $4 < E_\alpha < 8 \text{ MeV} \Rightarrow$ petits parcours (**trajectoire rectiligne**)

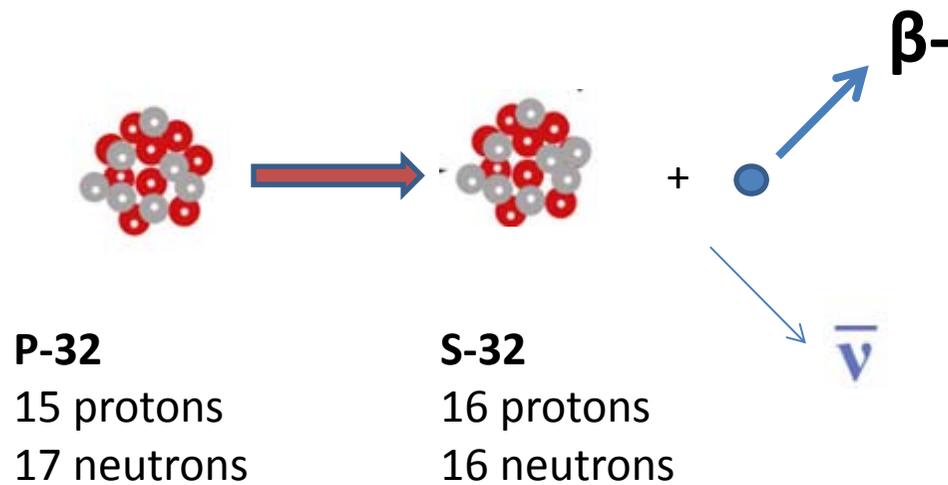
Particules très ionisantes (**TLE = 1000 MeV.cm⁻¹**)

Calcul du parcours : $R_{\text{air}}(\text{cm}) = 0,32 E_\alpha^{3/2} (\text{MeV})$ $R_{\text{milieu}} = R_{\text{air}} \frac{d_{\text{air}}}{d_{\text{milieu}}}$

Radionucléide	E (MeV)	R (AIR) cm	R (Eau) cm
²³²Th	4.0	2.6	0.0034
²¹⁰Po	5.3	3.9	0.0051
²¹⁸Po	6.0	4.7	0.0061
²¹²Po	8.8	8.4	0.0109

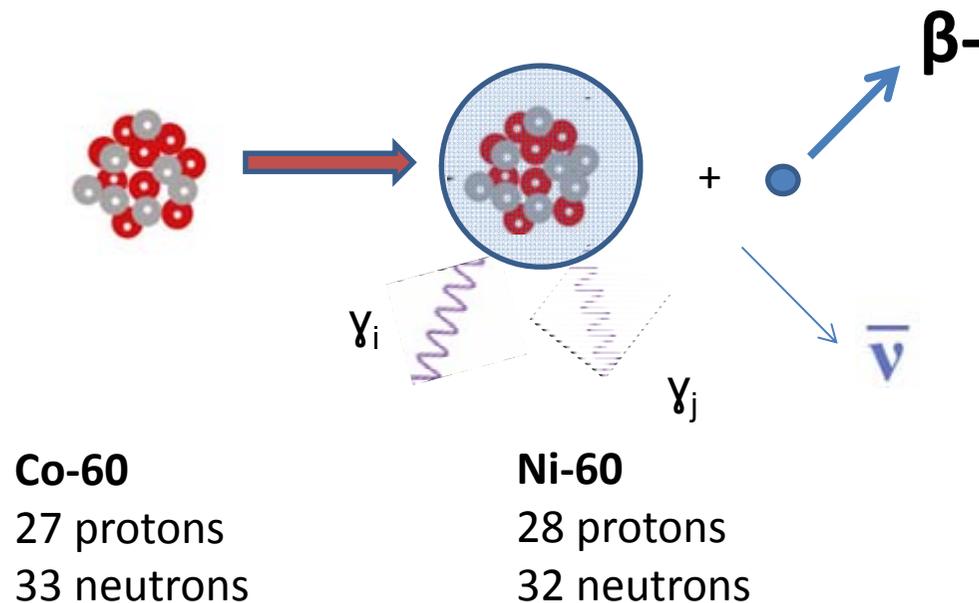
Bilan : Pas de risque d'exposition externe, mais très nocif en cas d'incorporation par inhalation ou ingestion (TLE = 1000 MeV.cm⁻¹)

Désintégration Bêta (β^-)



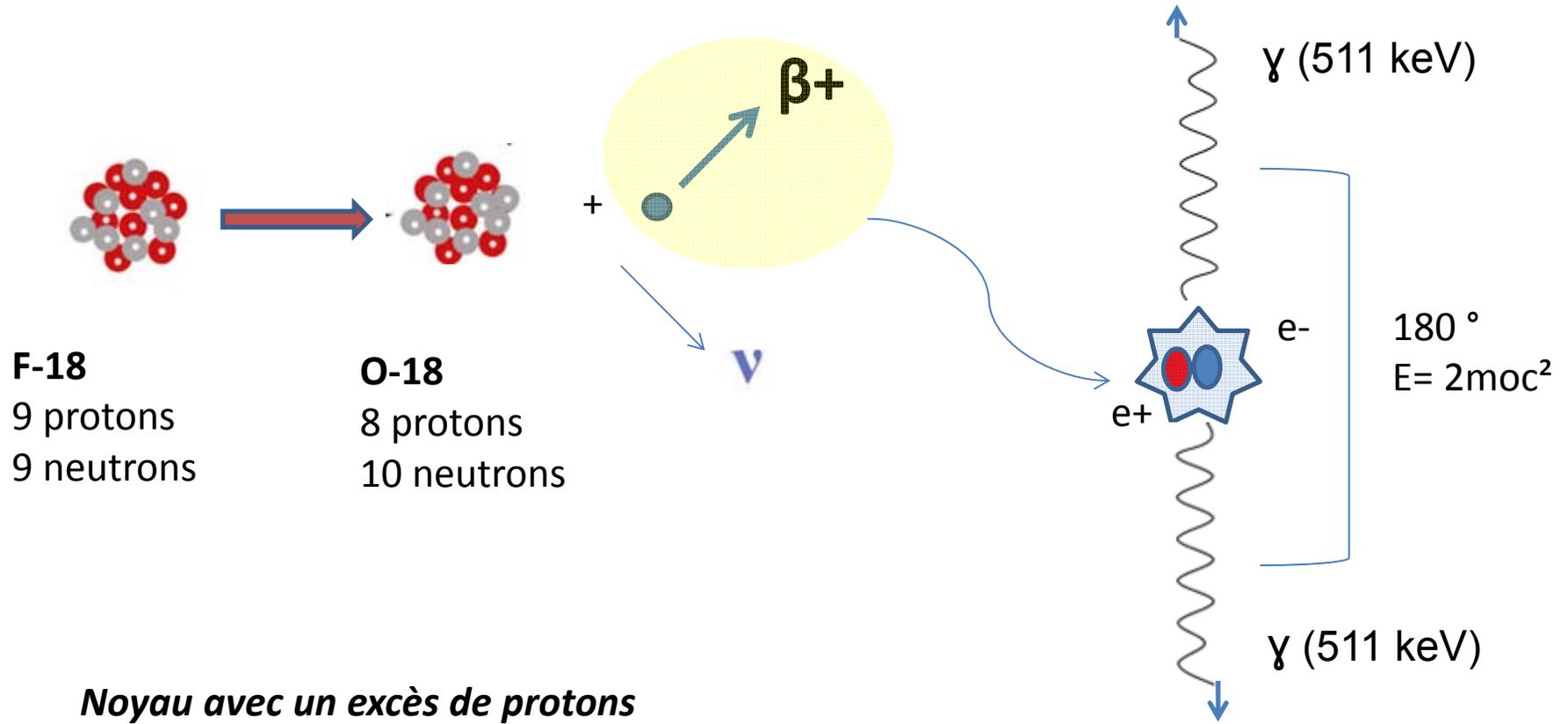
Noyau avec un excès de neutrons

Désintégration β^- pur
(H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Cl-36, Ni-63, Sr,90, Pm-147... qq dizaines de radionucléides)



Désintégration β^- + émissions γ
(Na-24, Ar-41, Co-60, Cs-137, Eu-152,..... qq milliers de radionucléides)

Désintégration Bêta (β^+)

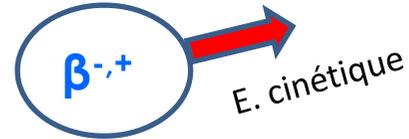


Noyau avec un excès de protons

Désintégration bêta (β)



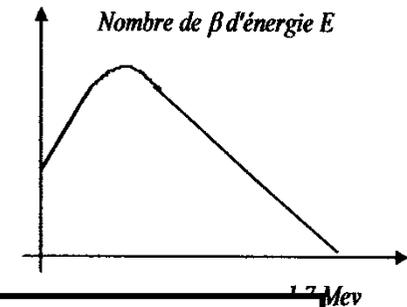
Emission d'un électron
Emission d'un positon



Émission d'un électron ou d'un positon : spectre continu $\langle E_{\beta} \rangle = 1/3 E_{\max}$

$$R(\text{cm}) = \frac{0,412 E_{\max}^n}{\rho}$$

avec $n=1.265 - 0,0954 \ln E_{\max}$ E_{\max} en MeV
 ρ = masse volumique du matériau g.cm^{-3}



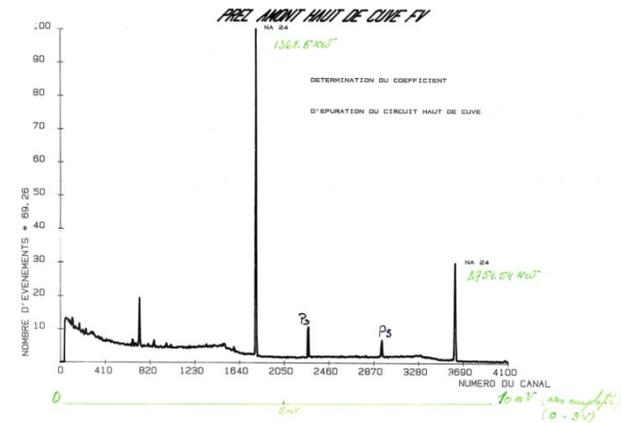
Exemple : Parcours maximums dans l'air et l'eau

Radionucléide	E_{\max} (MeV)	R_{\max} (AIR) cm	R_{\max} (Eau) cm
^3H	0.019	0,5	< 0,01
^{14}C	0.156	22	0.03
^{36}Cl	0.710	203	0.27
^{32}P	1.710	604	0.78

Bilan : Risque d'exposition externe limité au niveau de la peau, nocif en cas d'incorporation par inhalation ou ingestion (TLE $\sim 2.5 \text{ MeV.cm}^{-1}$)

Emission de photons (γ, X)

- Réarrangement des nucléons consécutifs aux désintégrations α, β
Les rayonnements γ sont des phénomènes nucléaires
- Réarrangement du cortège électronique (suite à une capture électronique ou au freinage d'électrons)
Les rayonnements X sont des phénomènes atomiques



Émission gamma, X : Spectre de raies

Caractéristiques : Rayonnement électromagnétique

(fréquence ν , longueur d'onde λ , Énergie E)

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

E = énergie en joules ou en eV ($1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$)

h = constante de Planck = $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

c = vitesse de la lumière = $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

λ = longueur d'onde photon en m

ν = fréquence en Hertz

Exemples:

si $\lambda = 100 \text{ nm}$ soit 10^{-7} m

$$E = h \cdot c / \lambda$$

$$E = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 10^{-7} = 1,99 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

$$E = 1,99 \cdot 10^{-18} / 1,6 \cdot 10^{-19} = 12,4 \text{ eV}$$

Si $E = 1,33 \text{ MeV}$ ($E = 2,13 \cdot 10^{-13} \text{ J}$)

$$\lambda = h \cdot c / E$$

$$\lambda = 6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 2,13 \cdot 10^{-13} = 9,33 \cdot 10^{-13} \text{ m}$$

$$\lambda = 0,93 \text{ picomètre ou } 0,000933 \text{ nm}$$

Atténuation des photons (γ, X)

Les photons (γ, X) n'ont pas de masse ni de charge, ils sont très pénétrants dans la matière

En pratique pour l'atténuation de photons dans les matériaux « écran » on utilise les épaisseurs tabulées:

- Moitié (couche de demi-atténuation) = diminution du débit de dose d'un facteur 2
- Dixième (couche de déci-transmission) = diminution du débit de dose d'un facteur 10

Radionucléide	E (MeV)	$X_{1/2}$ Plomb cm	$X_{1/10}$ Plomb cm	$X_{1/2}$ Béton cm	$X_{1/10}$ Béton cm
^{99m}Tc	0.141	0.03	0.1	2.4	8.0
^{137}Cs	0.662	0.65	2.4	4.9	16.3
^{60}Co	1.25	1.4	4.5	6.3	20.3

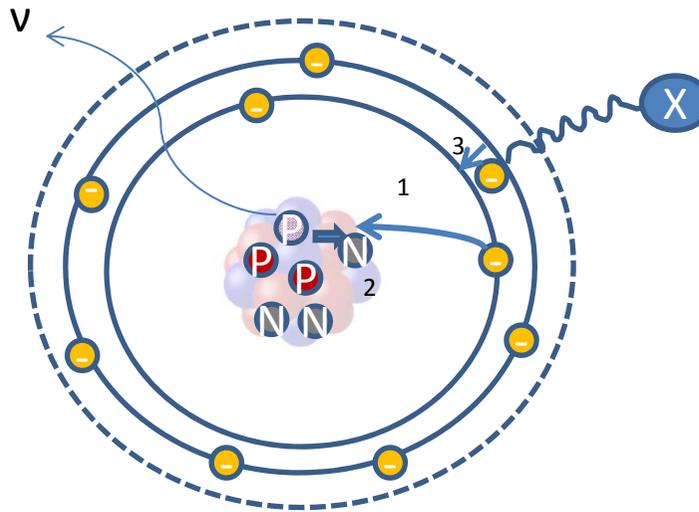
Bilan : Risque d'exposition externe – atteinte des tissus et organes profonds

Capture électronique

La capture par le noyau d'un électron du cortège a l'effet de transformer un des protons du noyau en neutron et diminuer sa charge électrique d'une unité. La nature utilise ce moyen, avec la désintégration bêta-plus, pour corriger la composition d'un noyau trop riche en protons.

La capture d'un électron du cortège déclenche l'émission d'un **neutrino** (invisible) par le noyau. (non détectable)

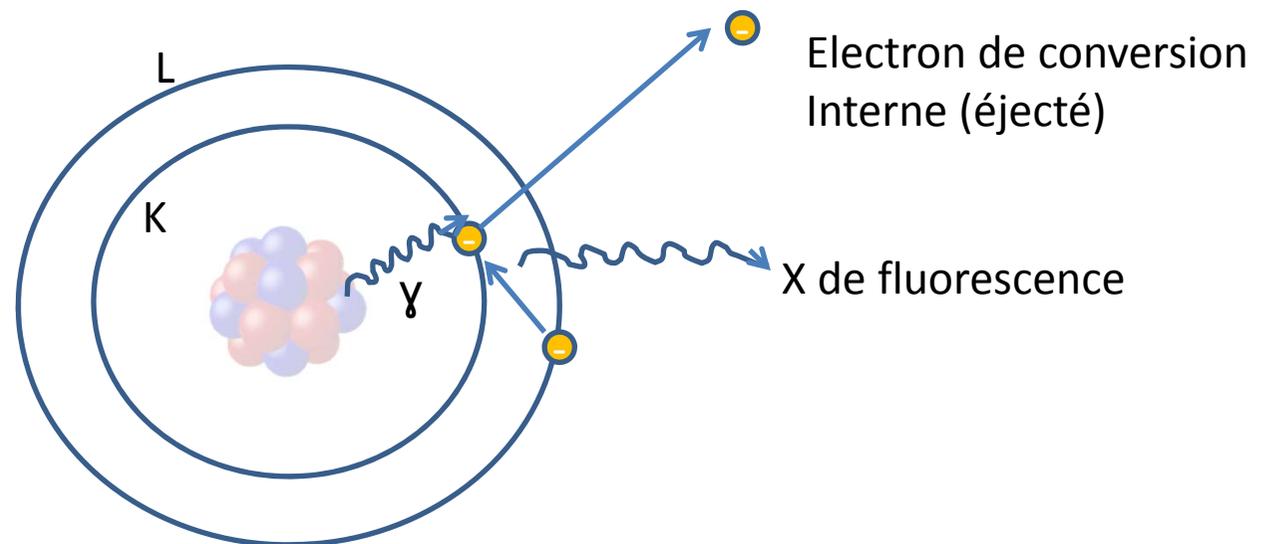
L'électron capturé appartient généralement à la couche interne du cortège électronique, l'atome se réarrange en émettant des rayons X ou un γ de désexcitation.



→ Réarrangement X

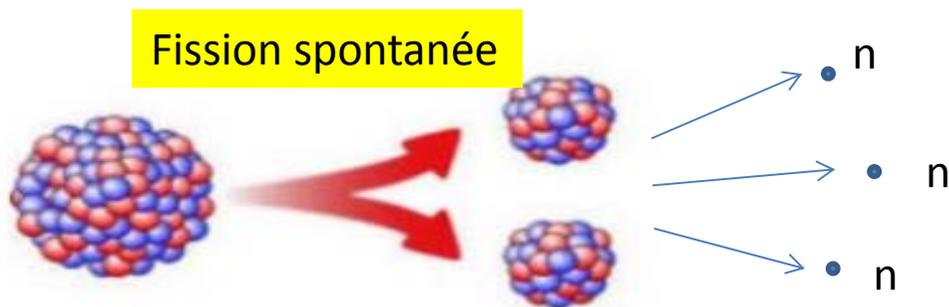
Conversion interne

Le noyau d'un atome excité, peut émettre un rayonnement gamma qui, au lieu de sortir de l'atome, interagit avec une électron périphérique (généralement de la couche K et l'éjecte de son niveau d'équilibre



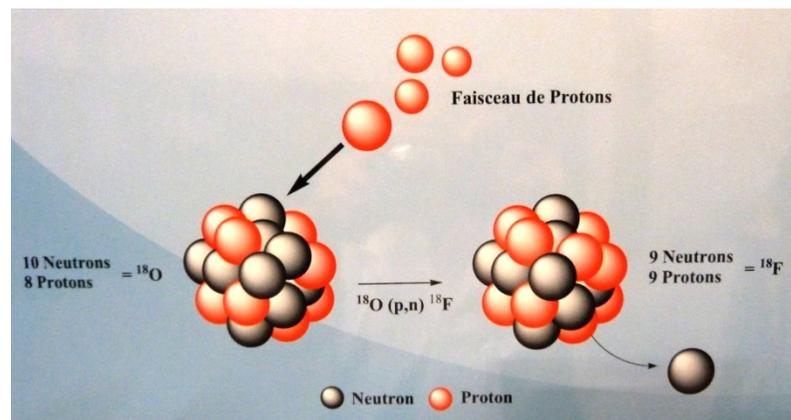
Emissions de neutrons

- Emission neutronique spontanée : ne concerne que très peu de noyaux très lourds ($Z^2/A \geq 45$) tels que le Cf 252, Cm-250 : Il s'agit de fission spontanée avec rejet d'un ou plusieurs neutrons



- Emission neutronique provoquée : Il s'agit de réactions nucléaires « provoquée » de type (p,n), (X,n), (α ,n), fission

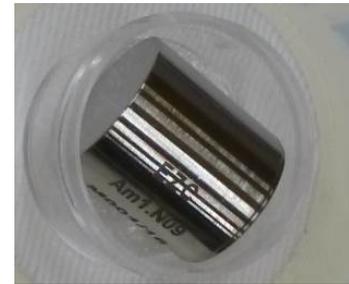
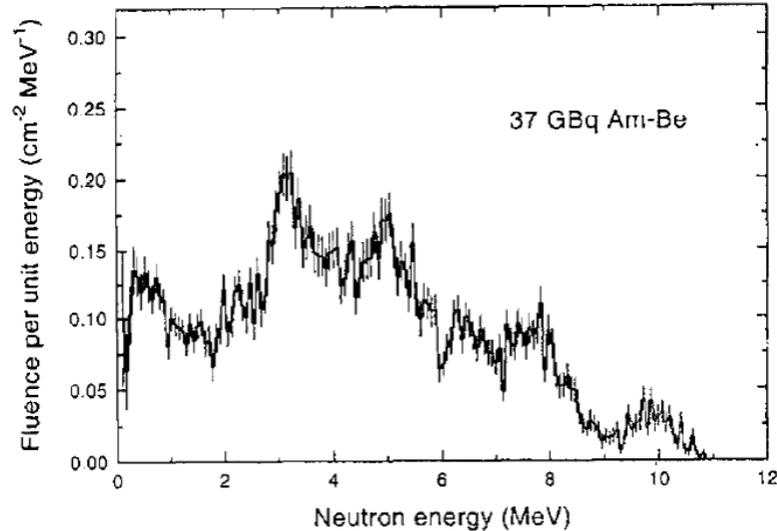
Ex: Réaction (p,n) : proton accéléré par un cyclotron à 18 MeV qui bombarde de l'eau enrichie en oxygène 18 \rightarrow ^{18}O (p,n) ^{18}F



Emission de neutrons

- Emission neutronique provoquée :

Ex: Réaction (α, n) : α émis par une source et couplé à un élément de numéro atomique faible \rightarrow



Diamètre 17.40mm x Hauteur 19.20mm

Flux de neutrons: $2,3 \times 10^5$ n/s
(Emissions α : $3,7 \times 10^9$ α /s)

Emissions de neutrons

Note:

La production de neutrons (réaction nucléaire, fission) engendre à son tour l'activation des structures ou matériaux environnants.

L'**activation neutronique** est le processus par lequel un flux neutronique induit de la radioactivité dans les matériaux qu'il traverse.

Ces produits d'activation sont en partie à l'origine de la radioactivité résiduelle présente dans les installations d'accélérateurs de particules ou de cyclotron lorsque ces derniers sont arrêtées.

$\text{Na} - 23(n,\gamma)\text{Na} - 24$	(sueur)		
$\text{Cu} - 63(n,\gamma)\text{Cu} - 64$	} (Matériaux Constituants)	$\text{Ar} - 40(n,\gamma)\text{Ar} - 41$	Air
$\text{Cr} - 50(n,\gamma)\text{Cr} - 51$		$\text{Sb} - 123(n,\gamma)\text{Sb} - 124$	Impuretés dans le plomb de protection
$\text{Co} - 59(n,\gamma)\text{Co} - 60$		
$\text{Fe} - 54(n,p)\text{Mn} - 54$			
$\text{Mn} - 55(n,\gamma)\text{Mn} - 56$			

Schéma de désintégration

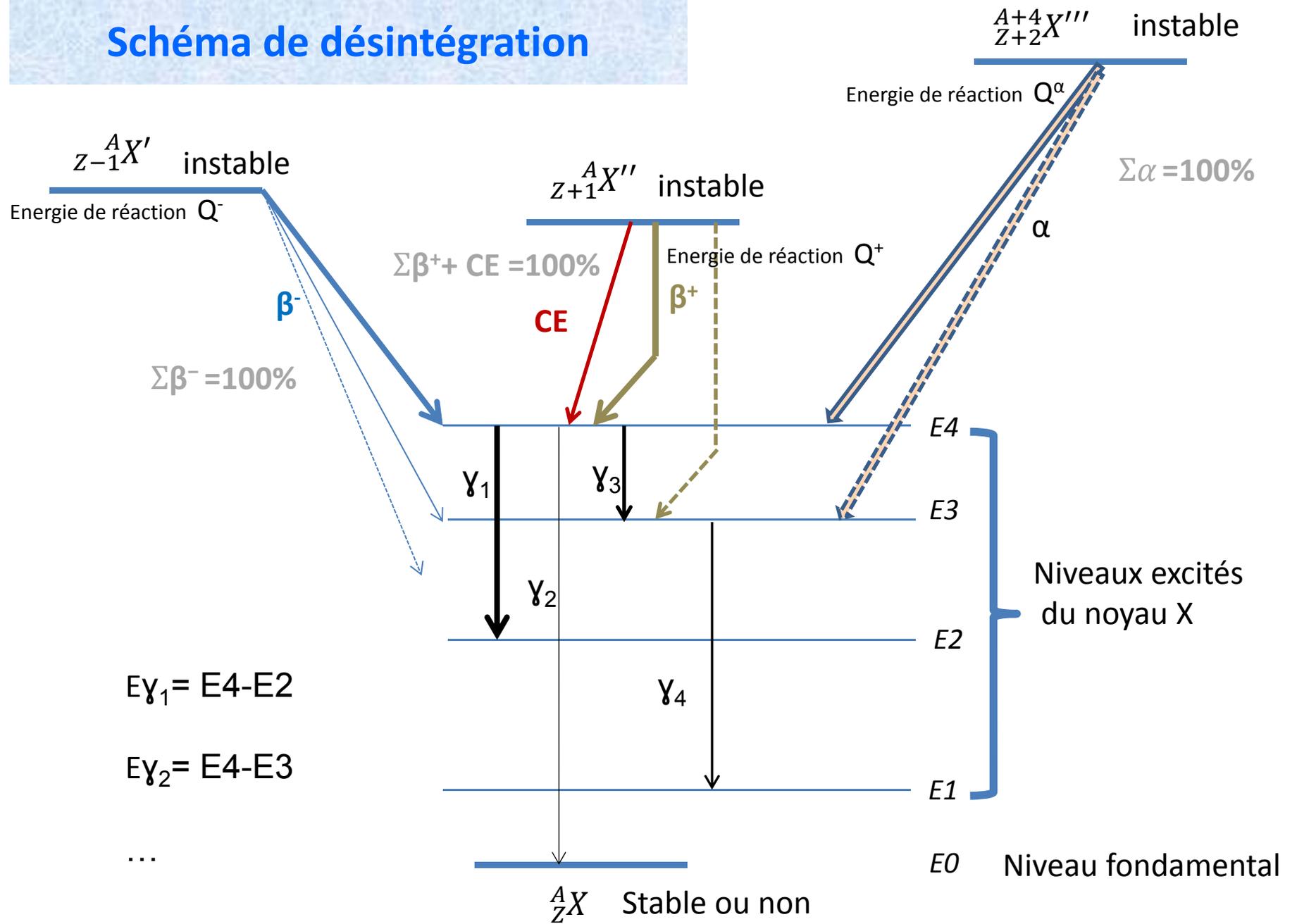
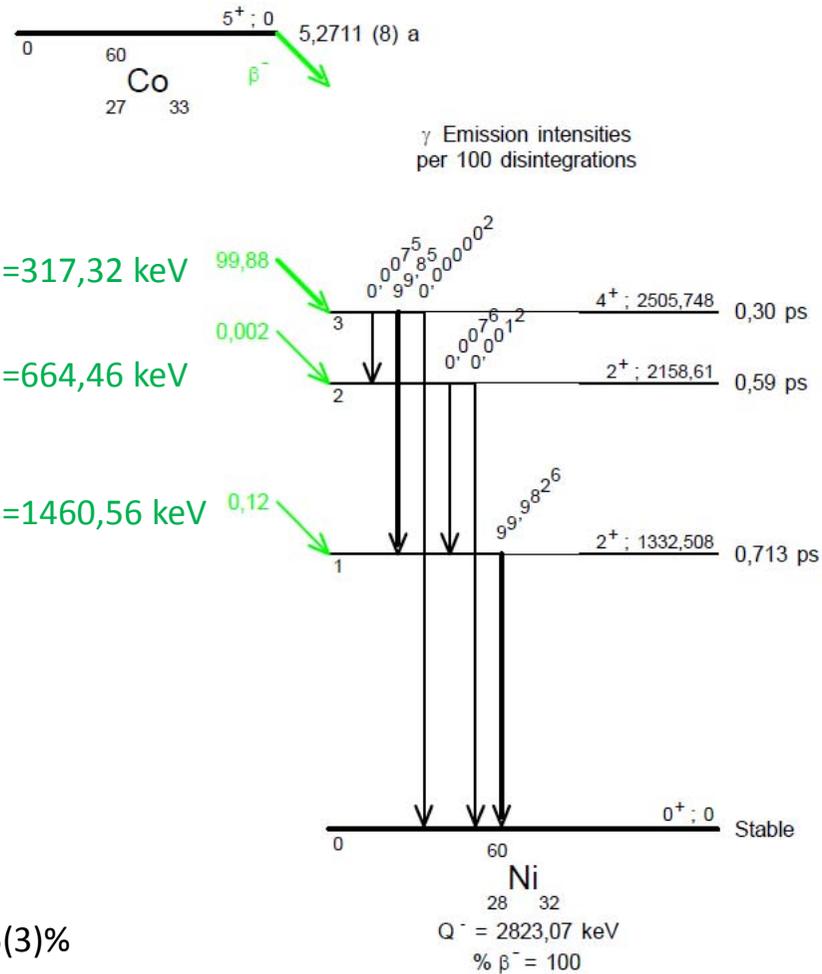


Schéma du Co-60

Le cobalt 60 se désintègre par émission
 Bêta moins vers des niveaux excités du
 Nickel 60 (stable).
 L'énergie de réaction Q^- est de 2823,07 keV



$\Sigma \beta^- = 100\%$

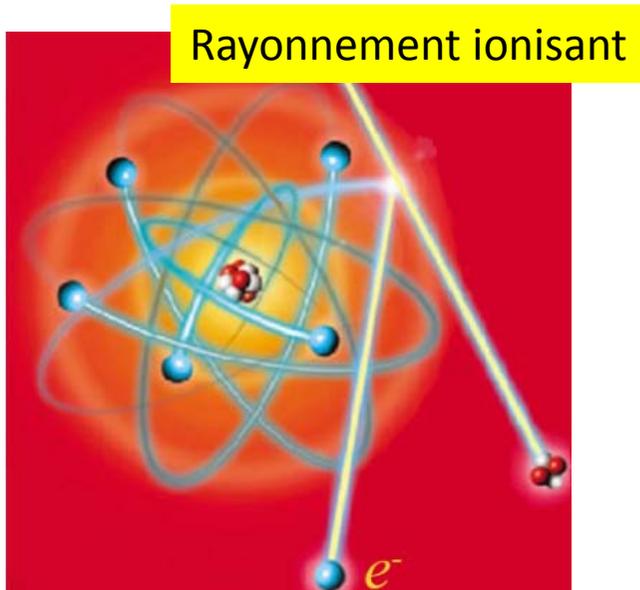
Emissions gamma

$\chi^{3,1} = 1173,228(3) \text{ keV}$ à 99,85(3)%

$\chi^{1,0} = 1332,492(4) \text{ keV}$ à 99,9826(6)%

Interactions des rayonnements dans la matière (cas des rayonnements α et β)

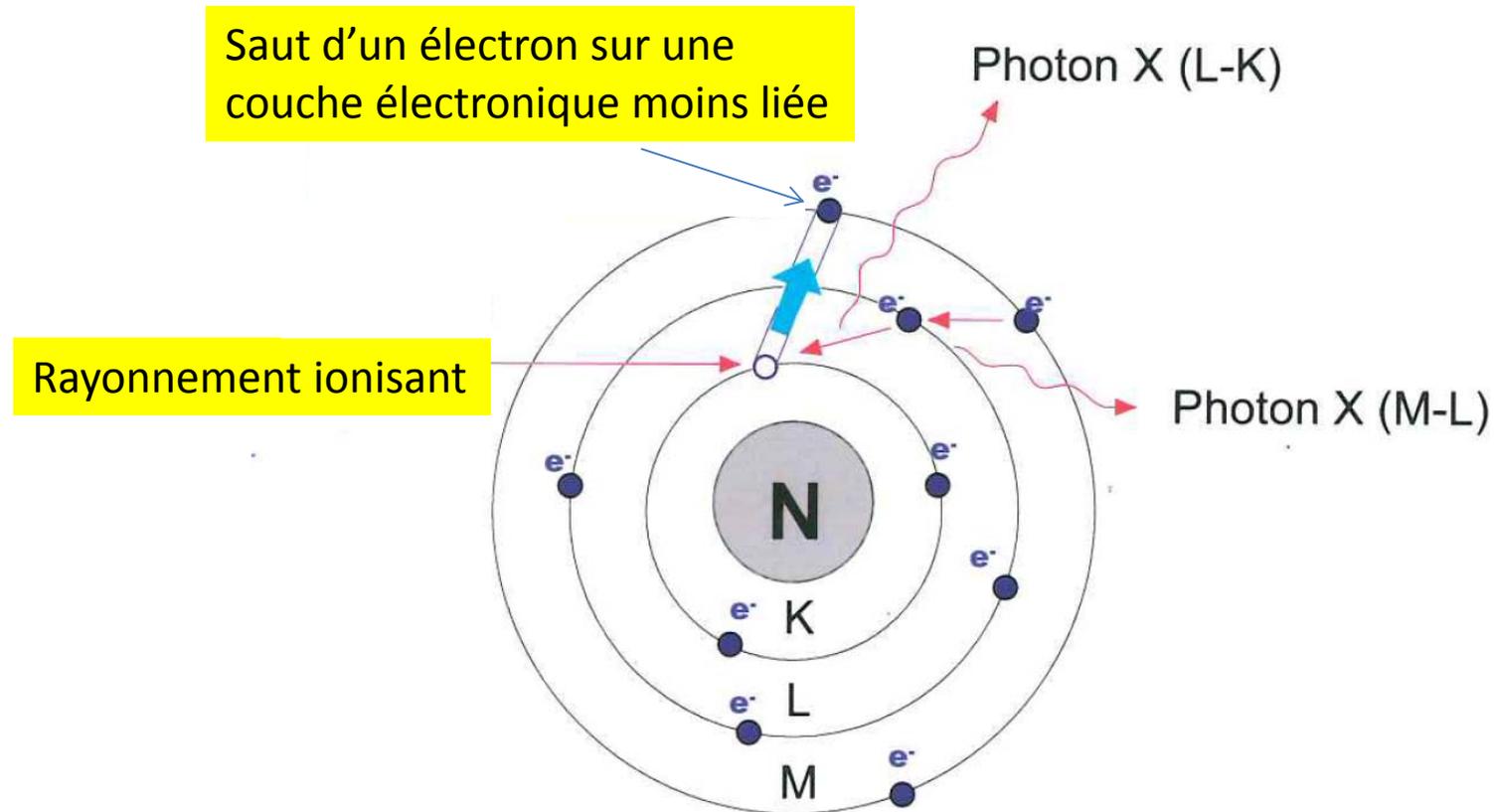
1) L'ionisation : arrachements successifs d'électrons des atomes du milieu traversé



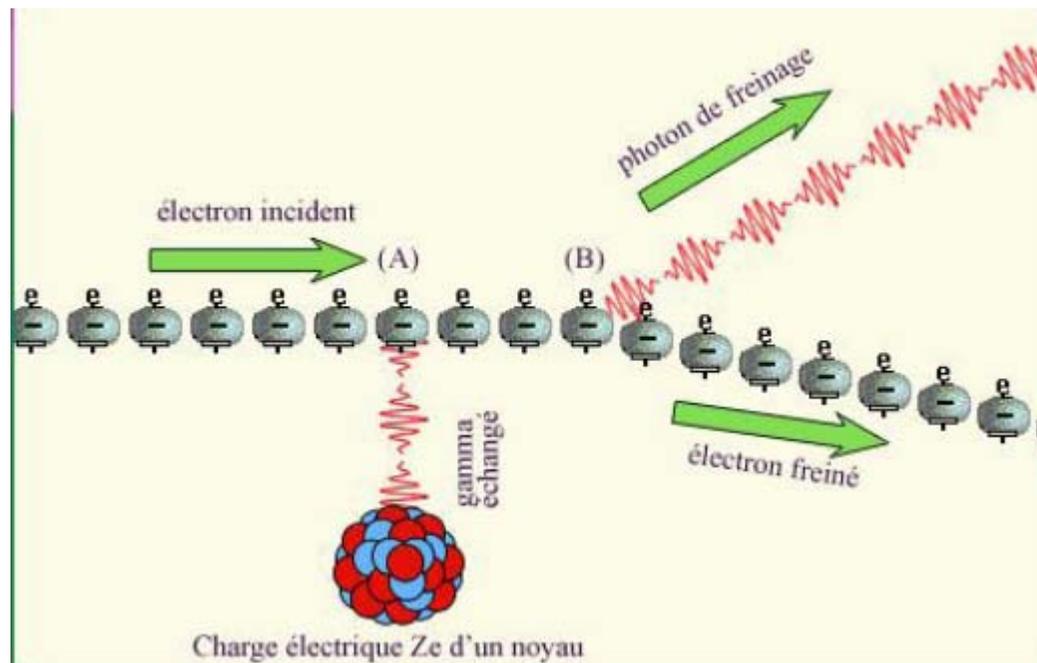
Plus l'ionisation est intense plus le trajet du rayonnement incident est court. ($E_L \sim 30\text{eV}$ atome cible)

- L'atome est ionisé (ion+)
- L'électron éjecté peut à son tour devenir ionisant
- réorganisation du cortège électronique (émission de rayons X de fluorescence)

2) L'excitation: l'interaction n'est pas suffisante pour arracher un électron d'un atome du milieu traversé, mais permet le transfert de celui-ci vers une orbite correspondant à une couche moins liée



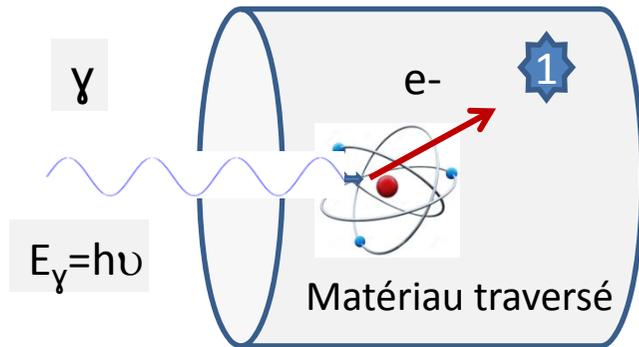
3) Le rayonnement de freinage: Cas des électrons incident de forte énergie ($> 1\text{Mev}$) qui subissent l'influence du champ coulombien du noyau. Ils sont déviés et cèdent une partie de leur énergie au noyau. L'énergie perdue par ralentissement ou freinage est émise sous forme de rayons X « Bremsstrahlung »



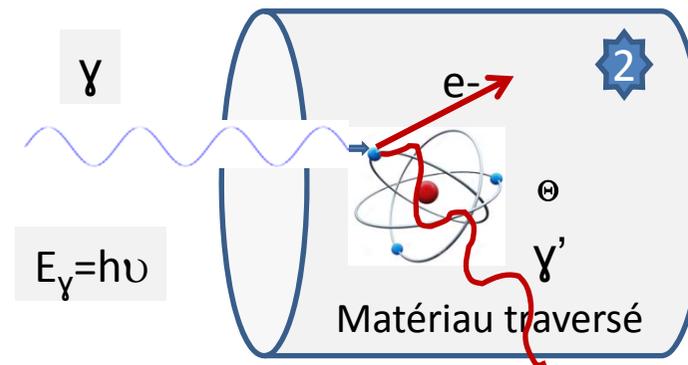
Interactions des rayonnements dans la matière (cas des rayonnements électromagnétiques X,γ)

3 processus d'interaction

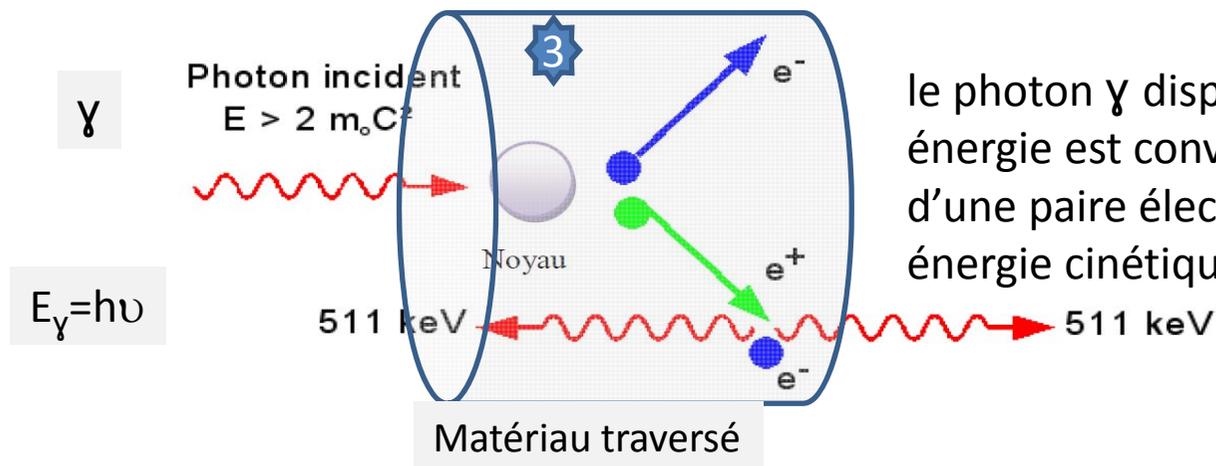
- Effet photoélectrique 1
- Effet compton 2
- Effet de création de paires 3



Le photon γ est absorbé et son énergie est cédée à un électron qui est arraché du cortège électronique



Le photon γ interagit avec un électron en lui communiquant une partie de son énergie et en déviant de sa trajectoire



le photon γ disparaît et son énergie est convertie en création d'une paire électron-positon et énergie cinétique.

Interactions des rayonnements gamma dans la matière

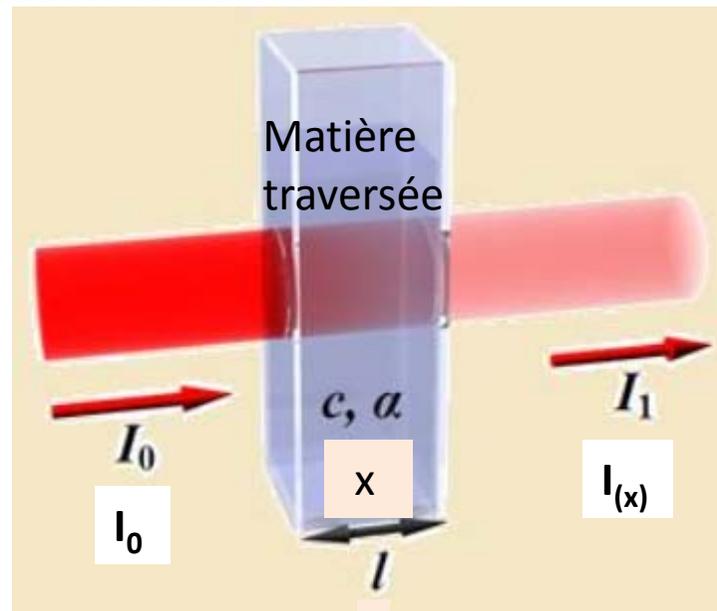
L'atténuation du nombre de rayonnements en fonction de l'épaisseur x de matière traversée est donnée par la loi : $I_{(x)} = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$ (loi de Beer Lambert)

Avec : $I_{(x)}$ = intensité résiduelle,

I_0 = intensité initiale ou nombre de rayonnements

μ = coefficient d'atténuation linéique (cm^{-1}) dépendant du matériau

x = épaisseur de matière traversée



Ex: Co-60, $E_{\text{moy}} = 1250 \text{ keV}$

$I/I_0 = 8,2 \%$ (5 cm Pb)

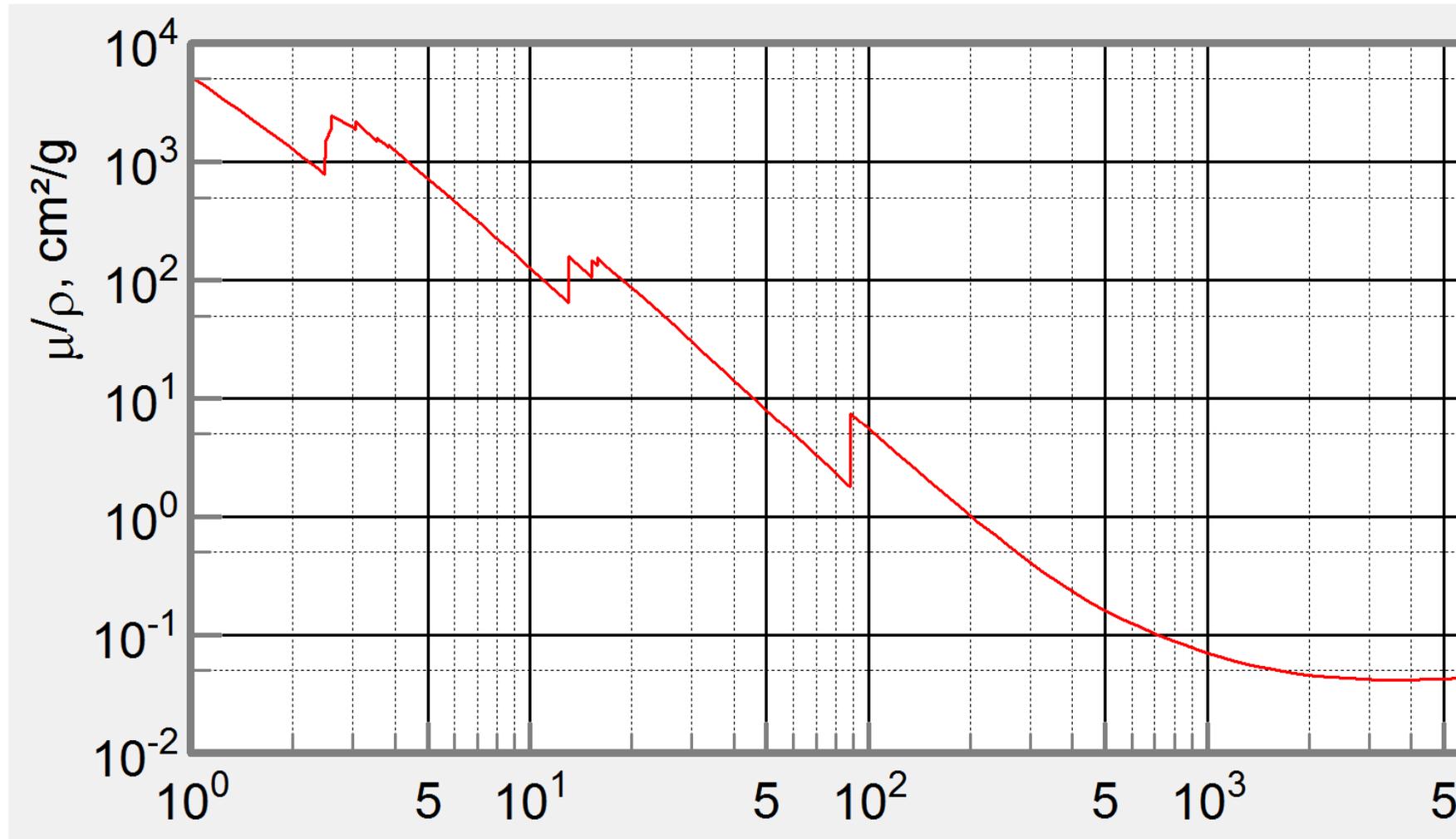
ou

$f_{\text{att}} = 12,1$

Note: Pour tenir compte des rayonnements diffusés, il faut faire intervenir un facteur correctif B appelé « facteur d'accumulation » ou « build-up factor »

Interactions des rayonnements avec la matière (γ)

Photon attenuation data (Pb)

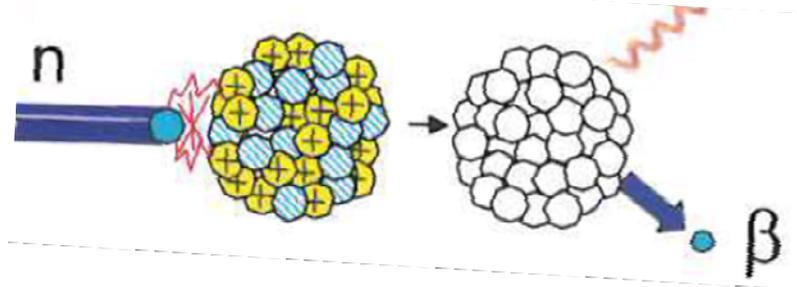


Interactions des neutrons avec la matière

Classement des neutrons en fonction de leur énergie

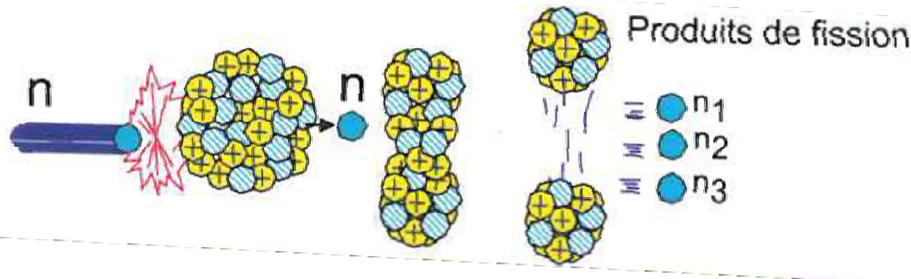
Neutron	Energie (eV)
Thermique	$< 0,4$
Intermédiaire	$0,4 < E < 200\ 000$
Rapides	$200\ 000 < E < 10\ 000\ 000$
Relativiste	$> 10\ 000\ 000$

Absorption des neutrons



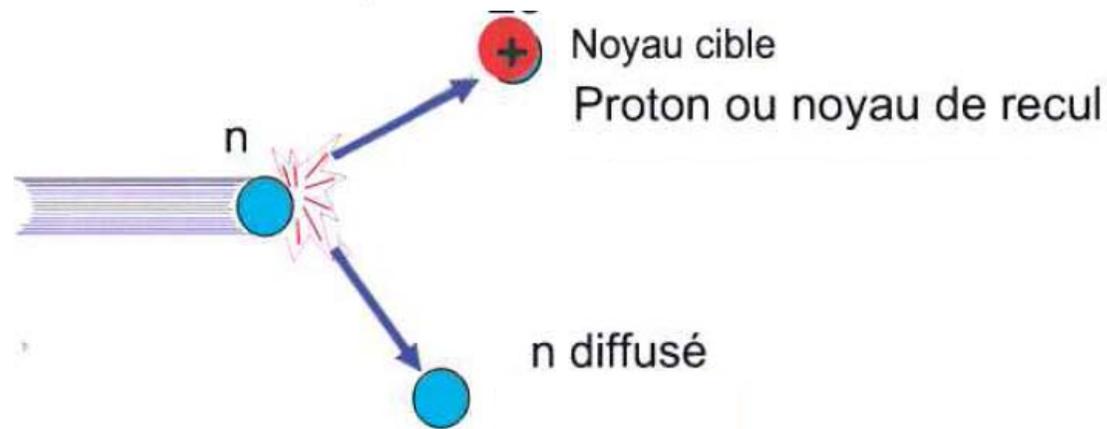
La probabilité d'absorption est inversement proportionnelle à leur énergie (vitesse).

Matériaux « neutrophages » :
Bore, Cadmium, Indium,
gadolinium



Absorption d'un neutron
(thermiques) par l'uranium fissile
entraînant la réaction de fission

Diffusion des neutrons



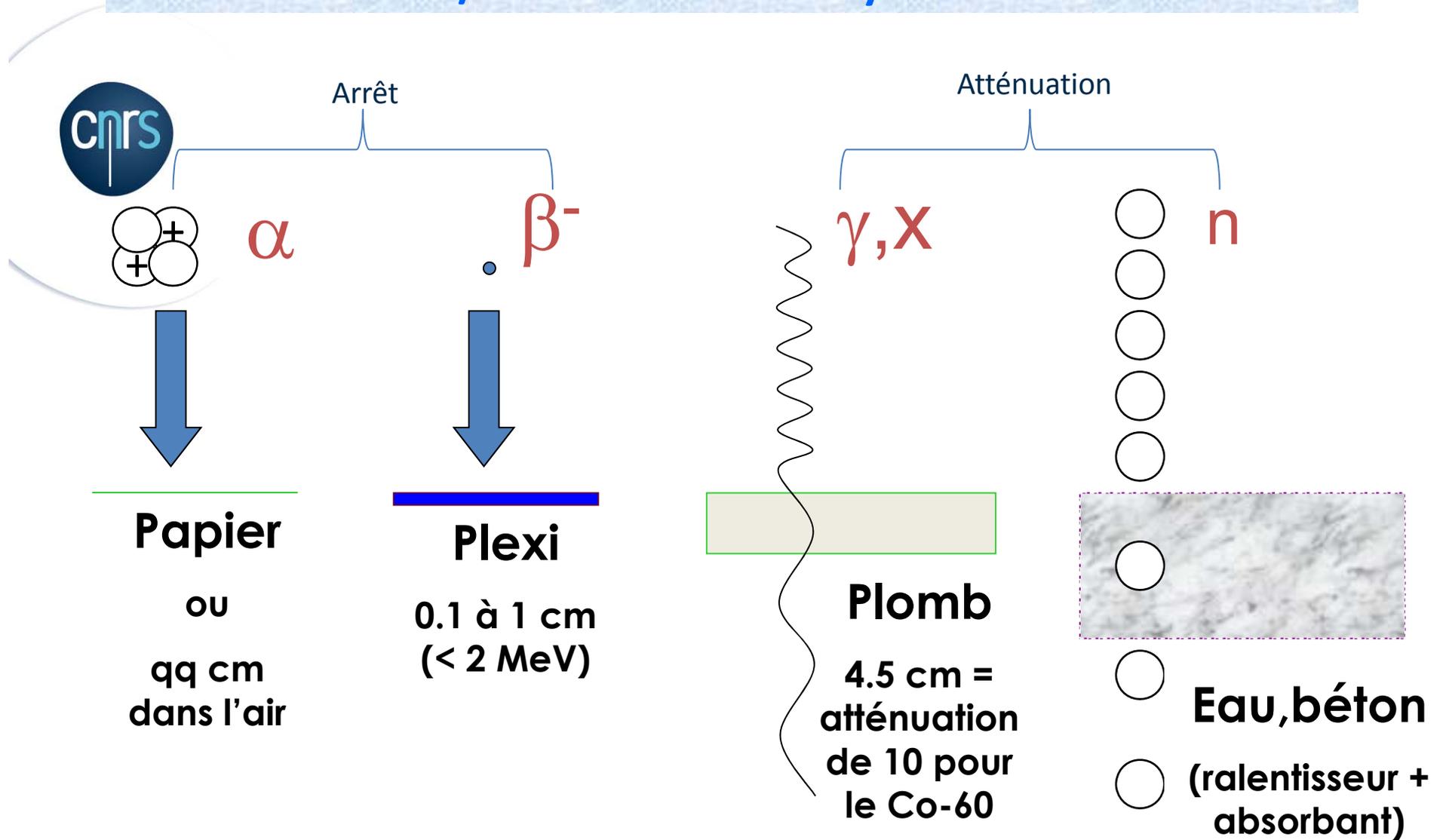
La diffusion d'un neutron sur un noyau est comparable au choc d'une boule mobile sur une boule fixe (effet billard). La perte d'énergie est maximale lorsque « la boule fixe » a la même masse que le neutron, c'est le cas du proton (hydrogène).

Donc les matériaux fortement hydrogénés sont les meilleurs ralentisseurs
- eau, polyéthylène, paraffine...

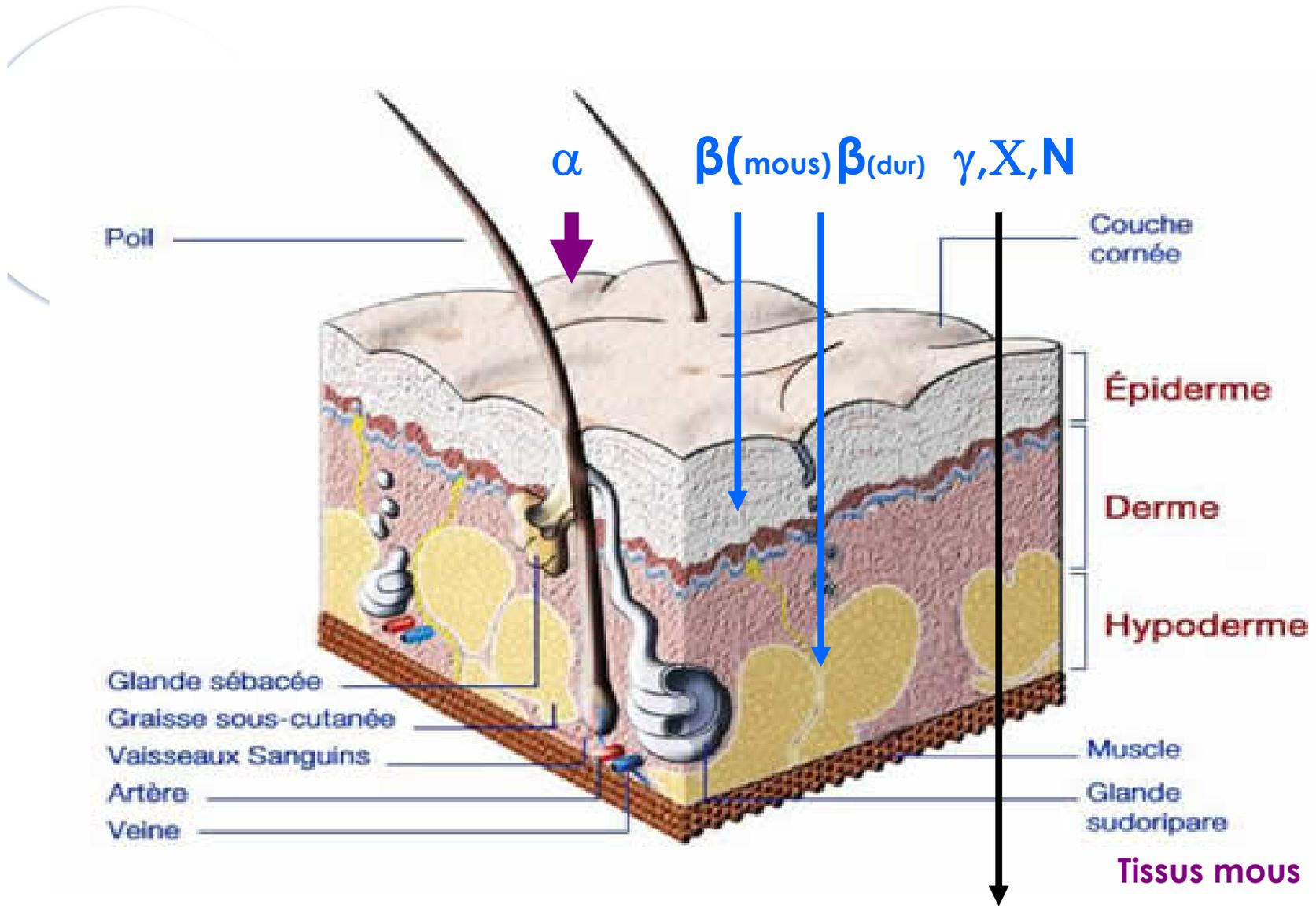
Bilan des interactions et des rayonnements secondaire émis

	Rayonnement	Interaction	Conséquence
Directement ionisant	α, β	Ionisation	Arrachement d'électrons Réorganisation du cortège électronique (rayons X et/ou électrons Auger)
		Excitation	Réorganisation du cortège électronique (rayons X et/ou électrons Auger)
		Freinage (pour les β^-)	Émission des rayons X de freinage
		Annihilation (pour les β^+)	Émission de 2 γ de 511 keV à 180°
Indirectement ionisant	X, γ	Effet photoélectrique	Éjection d'un d'électrons Réorganisation du cortège électronique (rayons X et/ou électrons Auger)
		Effet compton	Éjection d'un d'électrons Diffusion du photon incident Réorganisation du cortège électronique (rayons X et/ou électrons Auger)
		Effet de création de paire ($E > 1,022$ Mev)	Création d'une paire électron- positon (puis annihilation du positon)
	Neutrons	Absorption	Réaction nucléaire avec émission de rayonnement secondaire $\beta, \gamma, \alpha, p, N$
		Diffusion	Diffusion du neutron incident Projection d'un noyau de recul

Arrêt/ Atténuation des rayonnements



Parcours dans le corps humain



Unités, grandeurs de mesures en radioprotection

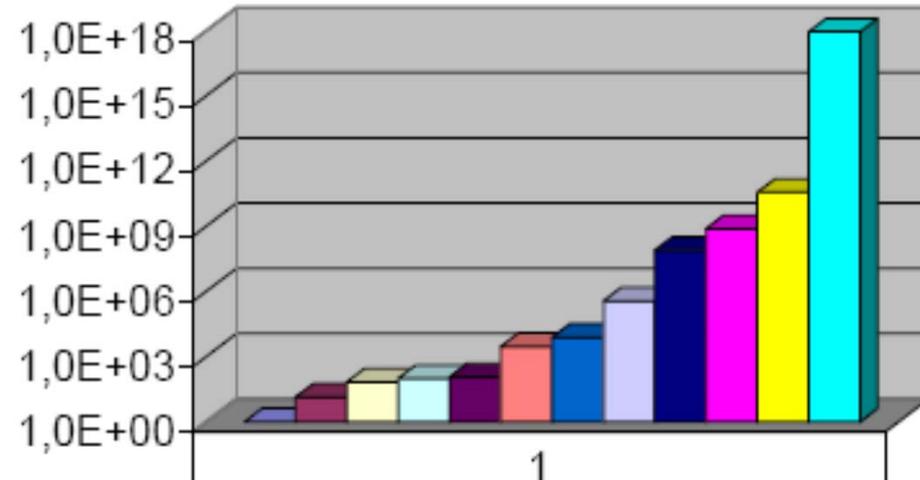
✓ Activité (A) :

[Bq] Becquerel

L'activité d'une source se définit par le nombre de désintégration ou de transformation par seconde des noyaux radioactifs qui la compose.

Chaque transformation s'accompagne de l'émission d'un ou plusieurs type de rayonnements ionisants

C'est un bon indicateur du risque radiologique



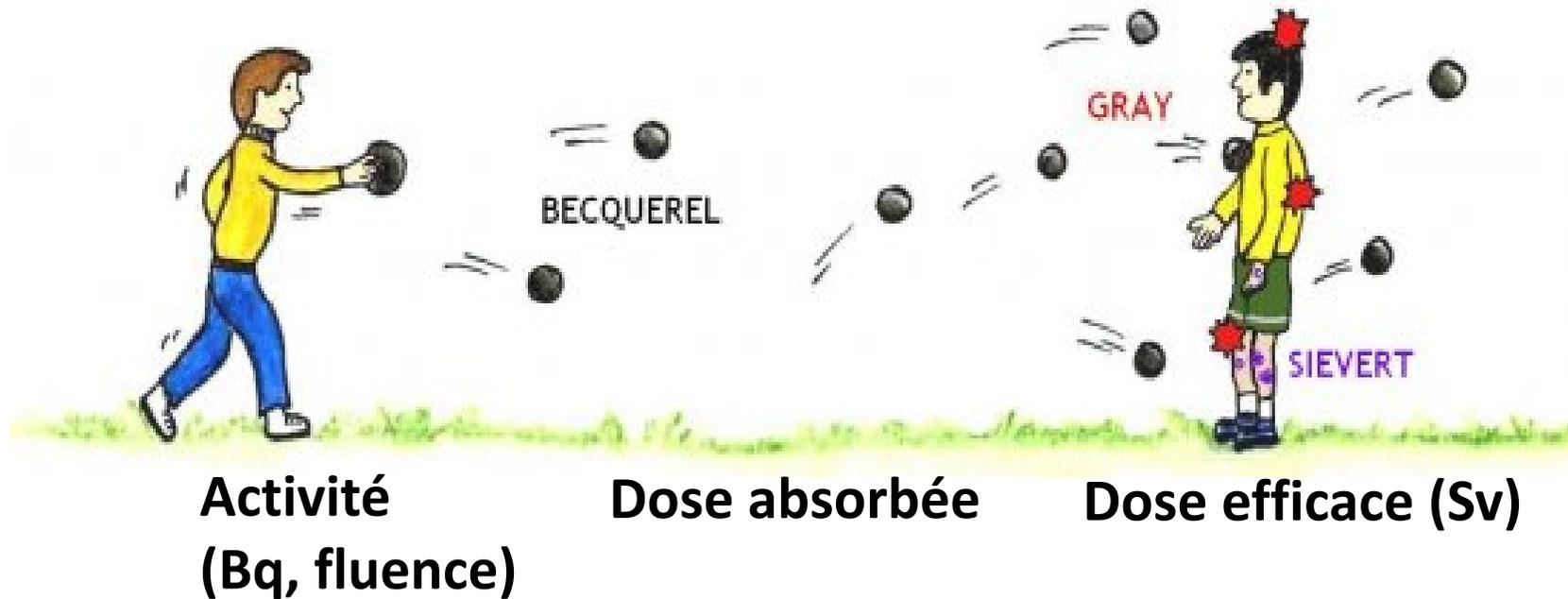
1	Becquerel (unité)
1,0E+00	Eau de mer/L
7,0E+01	Lait /L
1,0E+02	Poisson/kg
1,2E+02	Corps humain/kg
3,0E+03	Engrais Phosphatés/kg
8,0E+03	Terre granitique /kg
3,7E+04 – 2,0E+06	sources d'étalonnage
8,0E+07	scintigraphie de la thyroïde
8,0E+08	scintigraphie osseuse
1,0E+09	Ex: Activité autorisée labo CNRS
3,7E+10	1g de Radium
9,0E+17	rejets atmosphériques Fukushima

1. Dose absorbée (D):	[Gy] Gray (1 J.kg⁻¹)	$D = \frac{dE}{dm}$
2. Dose équivalente (H):	[Sv] Sievert	$H = \sum(D) \times W_R$
3. Dose efficace : (E)	[Sv] Sievert	$E = \sum(H) \times W_T$

4. Débit d'équivalent de dose: (H*, Hp(10), Hp(0.07)) [Sv/h] [μSv/h]

1. La dose absorbée notée **D** en **Gy** est l'énergie cédée par les rayonnements à l'unité de masse exposée.
2. La dose équivalente notée **H** dans un tissu donné = produit de la dose absorbée moyenne pour l'organe ou le tissu par le facteur de pondération pour le rayonnement R (W_R). C'est la grandeur qui rend compte de la nuisance biologique des rayonnements (dans le cas des effets aléatoires)
3. Certains tissus et organes sont plus sensibles au rayonnement que d'autres, pour en tenir compte, on multiplie la (les) dose(s) équivalente(s) par le facteur de pondération tissulaire. La dose efficace notée **E** est donc la somme pondérées (W_T) délivrées par exposition interne et externe aux différents tissus et organes du corps. (prise en compte uniquement des effets stochastiques)
4. Cette grandeur permet de faire une estimation de la dose efficace E.
Elle peut être mesurée à l'aide d'un dosimètre porté ou d'un détecteur recouvert d'une épaisseur (équivalent tissu). La profondeur (d) recommandée pour le contrôle des rayonnements fortement pénétrants est de 10 mm. Elle s'exprime en **Hp(10)** en (μSv/h).

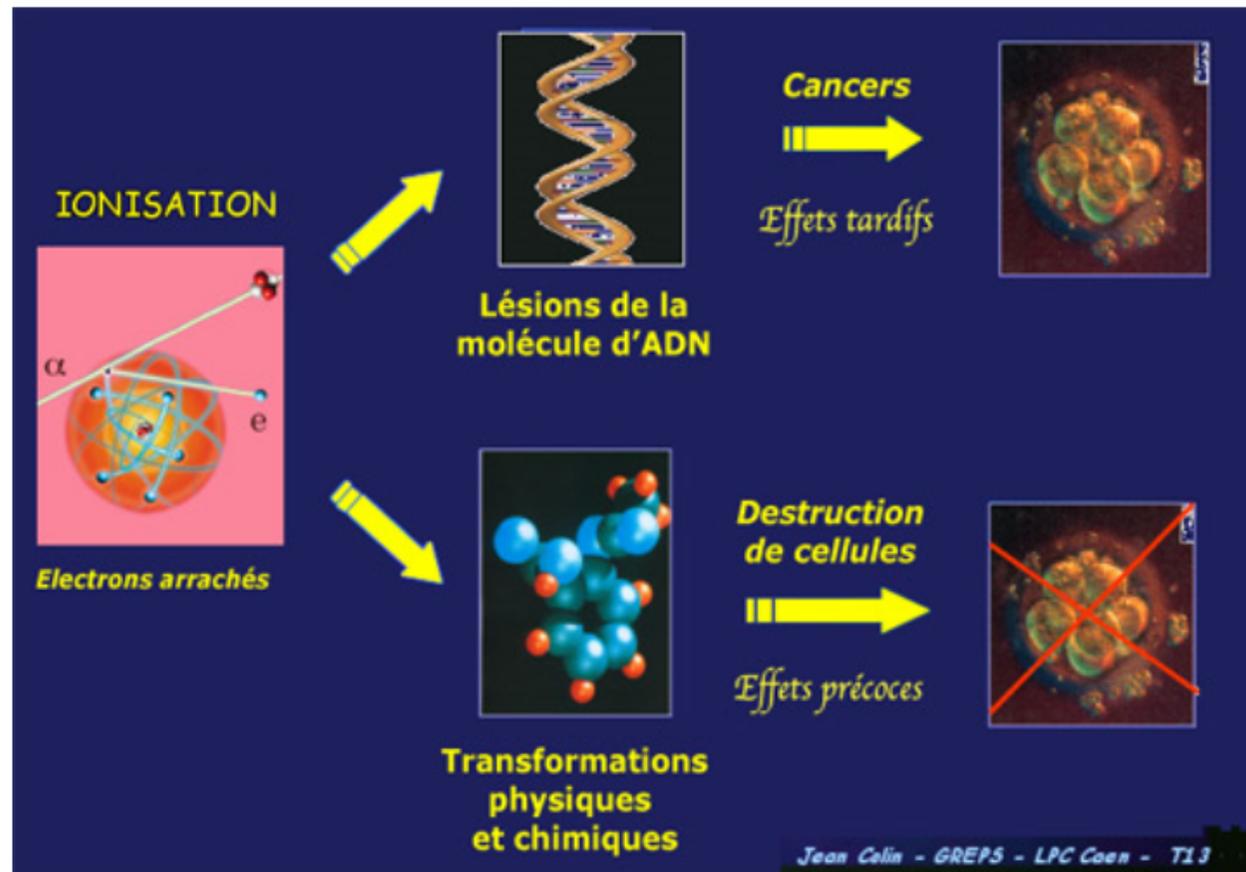
Illustration de la relation entre activité et dose



Effet sur l'homme de la quantité d'énergie absorbée en tenant compte:

- de la dangerosité des rayonnements (W_R : facteur de pondération radiologique),
- de la radiosensibilité des tissus/organes (W_T : facteur de pondération tissulaire).

Les effets biologiques

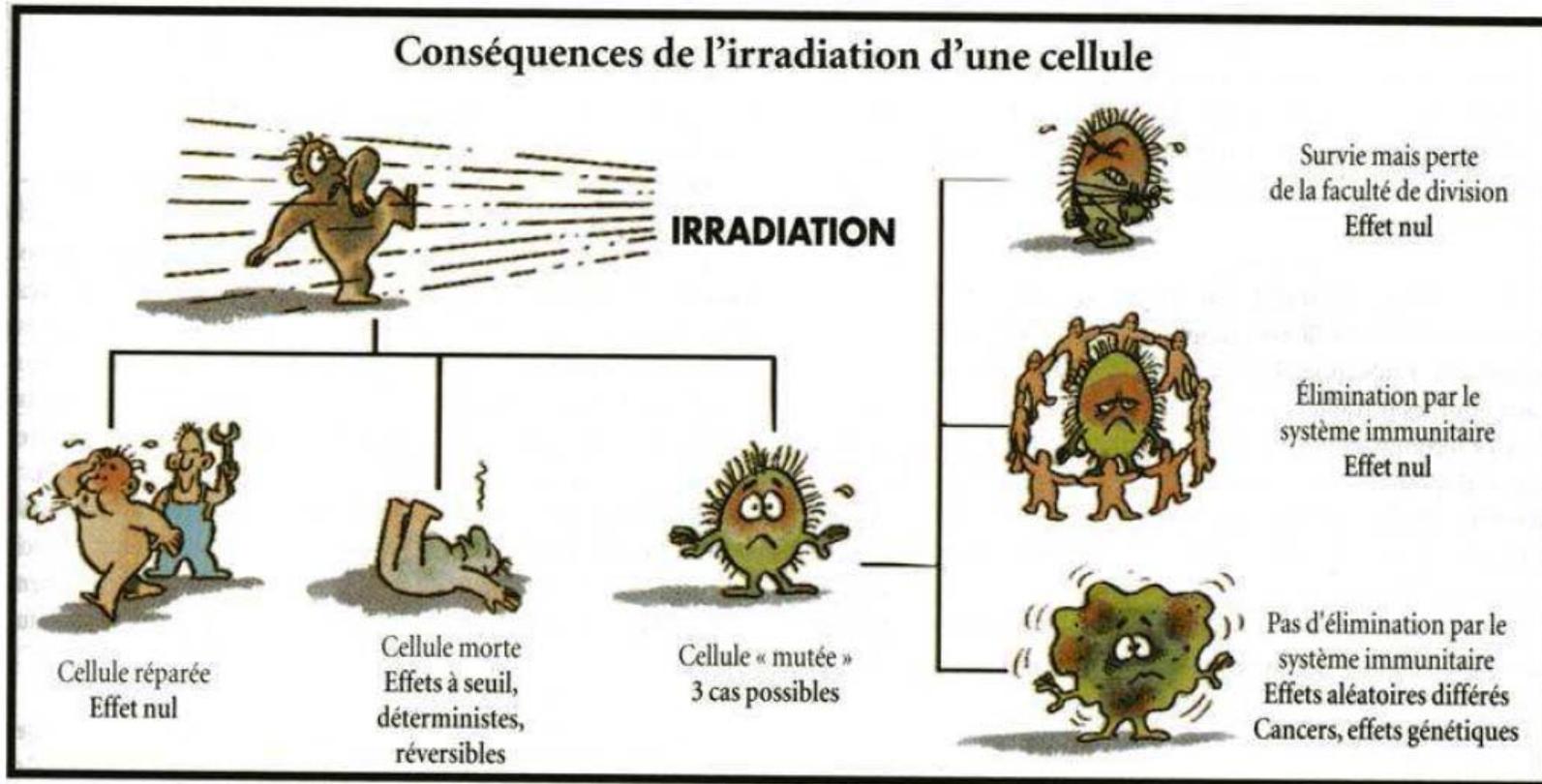


De l'ionisation aux effets biologiques

Les conséquences biologiques les plus importantes des radiations sont essentiellement dues aux lésions des molécules d'ADN. La dissociation de molécules simples comme l'eau, très abondante dans le corps humain, libère aussi des radicaux libres très actifs chimiquement et donc agressifs. La gravité des effets dépend de la densité des ionisations dans le milieu. Les effets sont d'autant plus importants que l'énergie déposée dans le milieu est importante et localisée dans l'espace et dans le temps. Cependant, quelle que soit la dose reçue, aucun effet héréditaire (problèmes cancérogènes transmis par des gènes irradiés) n'a encore été observé chez l'homme.

©IN2P3/NEPAL

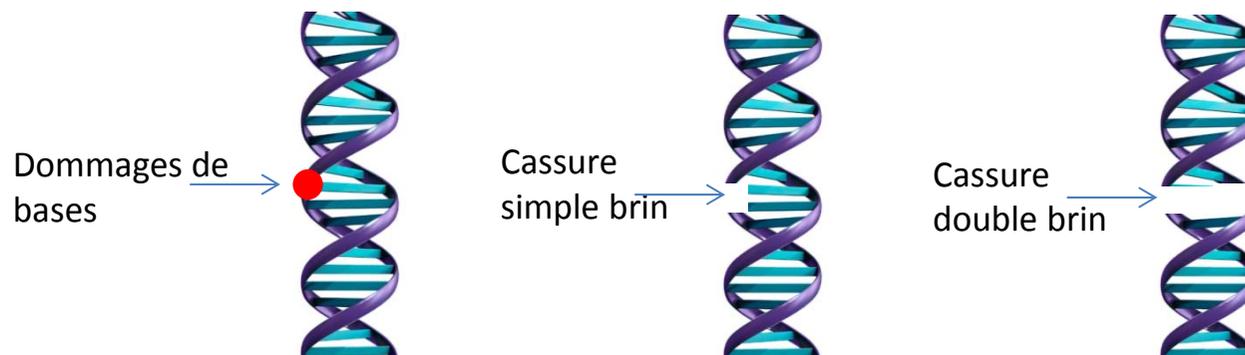
Les effets biologiques



Source : Santé, radioactivité et rayonnements ionisants
(2003) Brochure du Comité d'Information des Professions de Santé

Estimation de la fréquence de lésions spontanées et radio induites de l'ADN (cellule de mammifère)

Type de dommages de l'ADN	Spontanée par jour	Pour une irradiation de 1 Gy	Délai de réparation de 50% des dommages
Dommages de bases	> 50 000	~ 10 000	5 – 10 min
Cassures simple brin	> 10 000	~ 1 000	10 – 20 min
Cassures double-brin	8	~ 40	> 50 mn

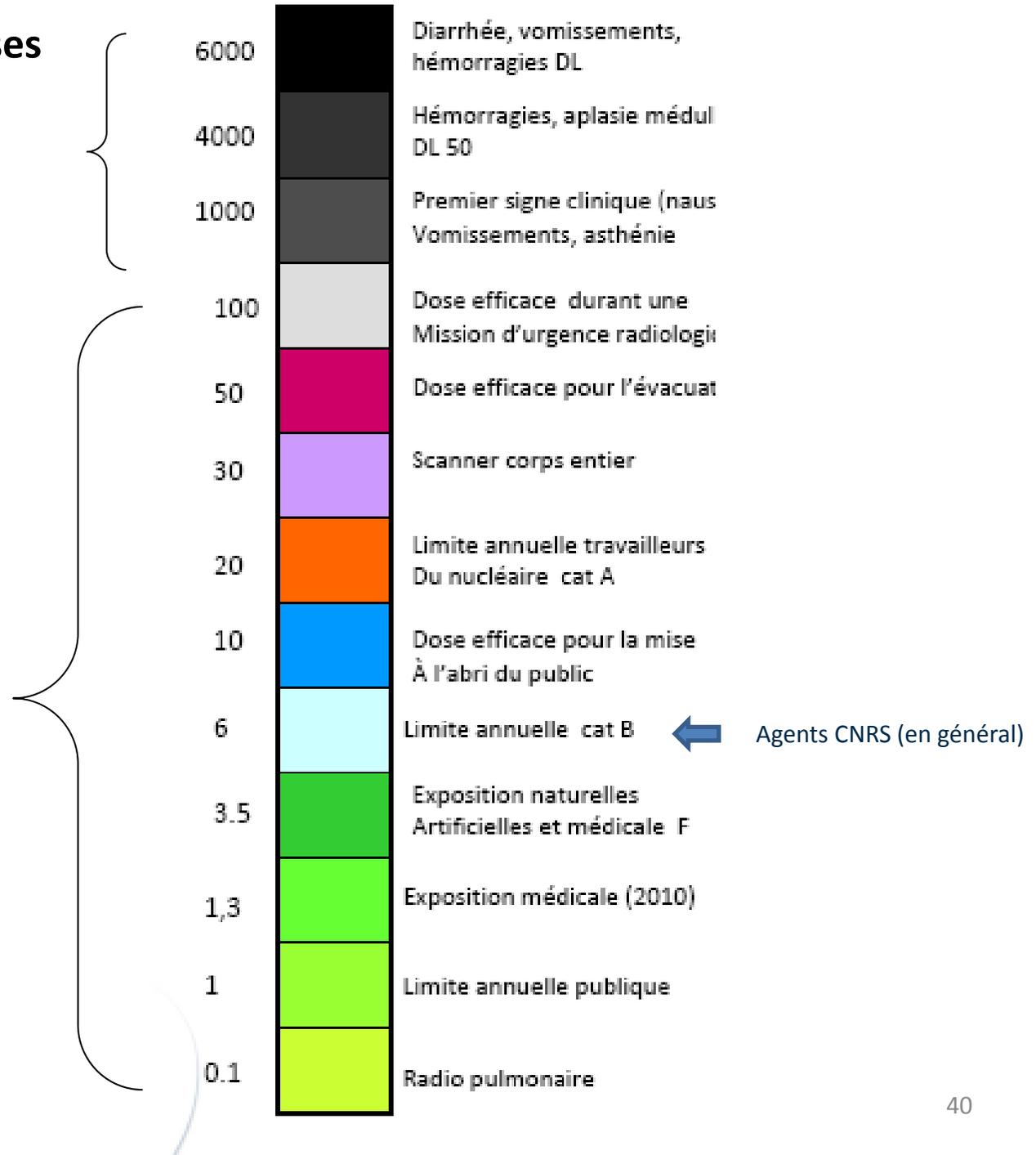


**Moyennes et fortes doses
(mGy)**

Effets déterministes

**Faibles doses
(mSv)**

**Effets stochastiques
ou aléatoires**



Les principes de la radioprotection

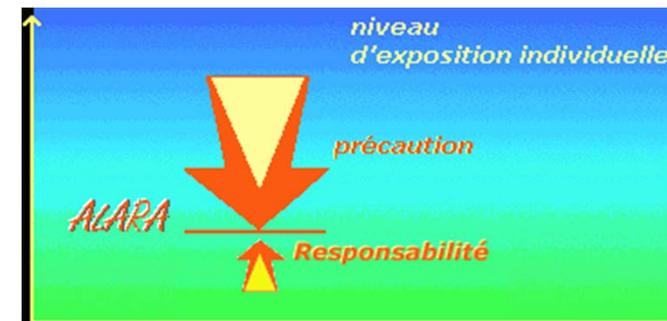
La justification des pratiques

Apports d'avantages en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique



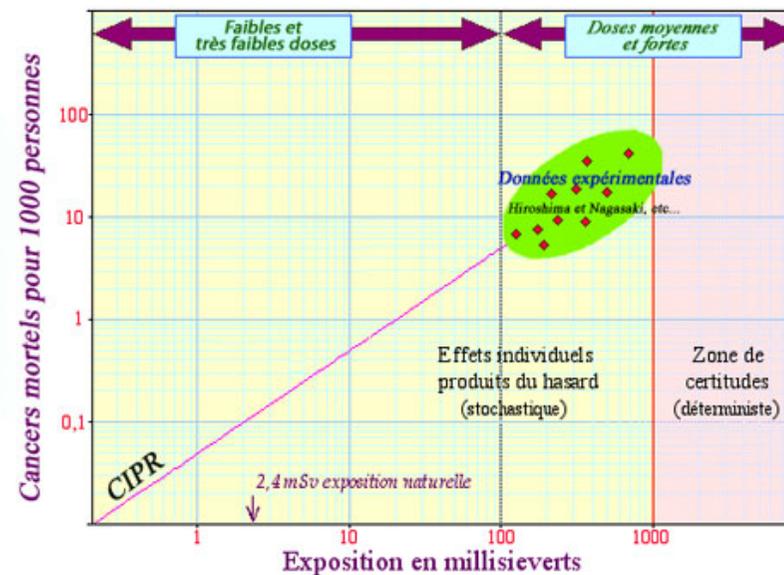
L'optimisation des expositions

Principe « ALARA - As Low As Reasonably Achievable »



La limitation des doses d'exposition

Respect des doses efficaces réglementaires



Risque de cancer évalué à 5% pour une dose de 1Sv

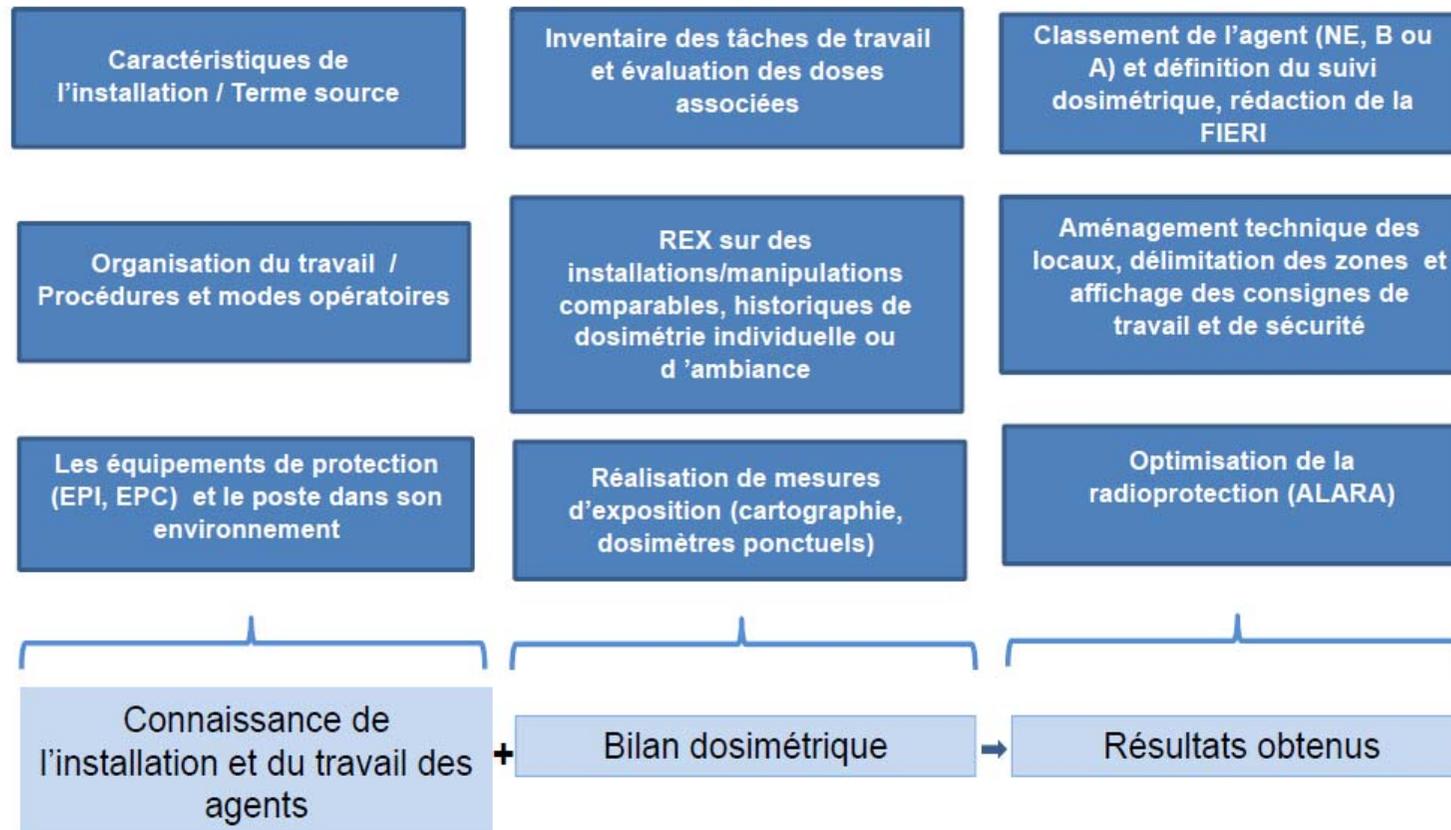
L'évaluation du risque radiologique

3 principes fondamentaux

- La justification
- L'optimisation « Alara »
- La limitation



ETUDE DE POSTE (Clef de voute du dispositif réglementaire)



Evaluation de la dose efficace

A) Voies d'exposition :

- Exposition externe
- Exposition interne (par inhalation, par ingestion, par contamination)

B) Caractéristiques du terme source :

- Activité, nature du rayonnement, énergie, débit de dose

C) Scénarii d'exposition

- Temps de travail (1607h/an) ou de séjour à proximité d'un terme source

D) Coefficients tabulés:

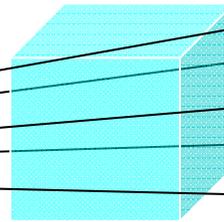
- WR : facteur de pondération radiologique (1 à 20)
- WT : facteur de pondération tissulaire (0.01 à 0.20)
- DPUI : Dose par unité incorporée (Sv/Bq $\sim 10^{-4}$ à 10^{-11})

A) VOIE D'EXPOSITION : Exposition externe
La source est à l'extérieur de l'organisme

Terme source

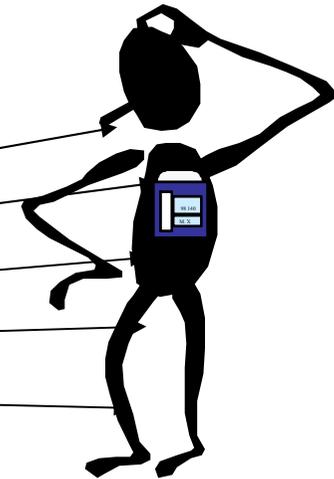


Matière inerte



α
 β
 γ, X
 N, p

Travailleur



Dose absorbée D (Gy)

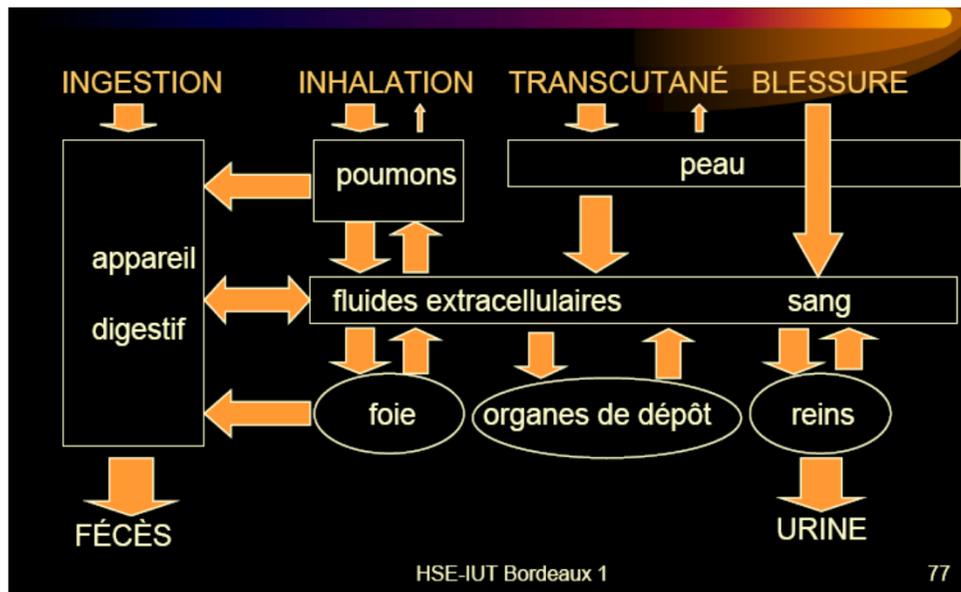
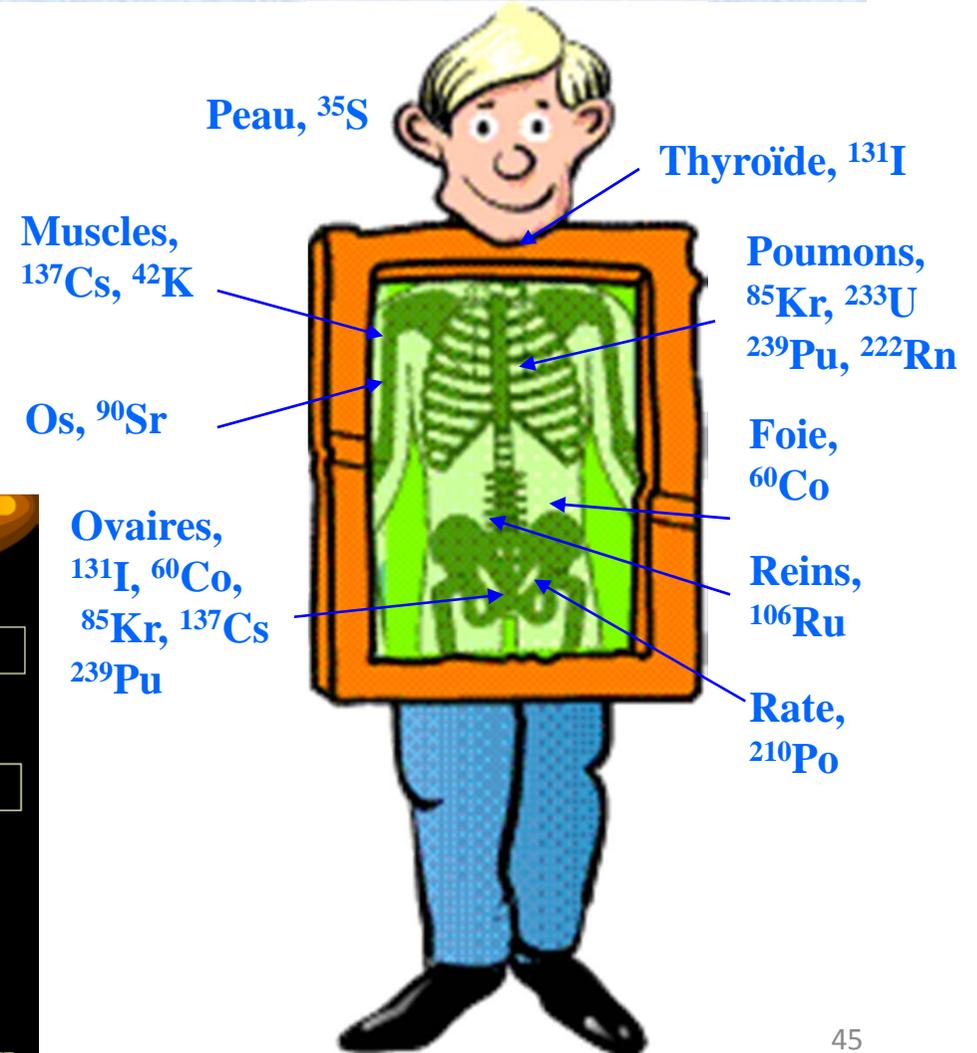
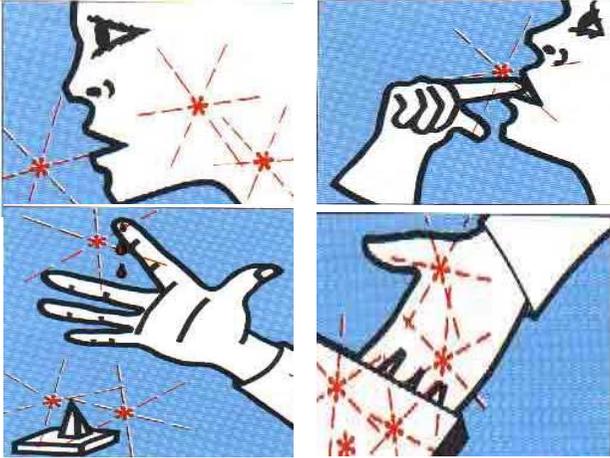
Dose efficace E (Sv)

**Source radioactive,
générateur RX ou
accélérateurs de
particules**



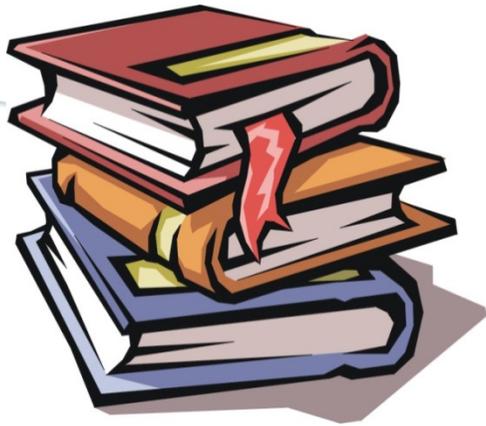
A) VOIE D'EXPOSITION : Exposition interne

La substance radioactive est inhalée (aérosols, poussières), ingérée (aliments) ou migre à travers la peau. Elle est à l'intérieur même de l'organisme humain.



B) Caractérisation du terme source

Détermination du terme source :

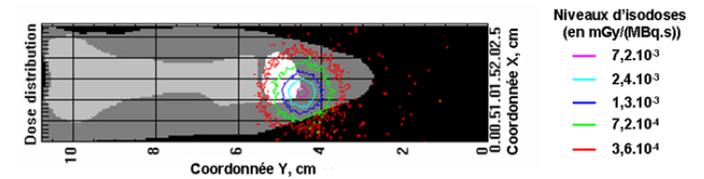


Bibliographie

REX



Mesures



Modélisation par calcul (μshield, Fluka,...)

C) Scénarii d'exposition



- **Décrire les protocoles des manipulations (expérimentateur)**
- **Inventorier des durées et fréquences des manipulations**
- **Relever les expositions -gestes et postures-(corps entier, Mains, peau)**
- **Identifier les équipements de protections individuelles (blouse, gants, manchettes, tablier plombé...)**

D) Coefficients tabulés



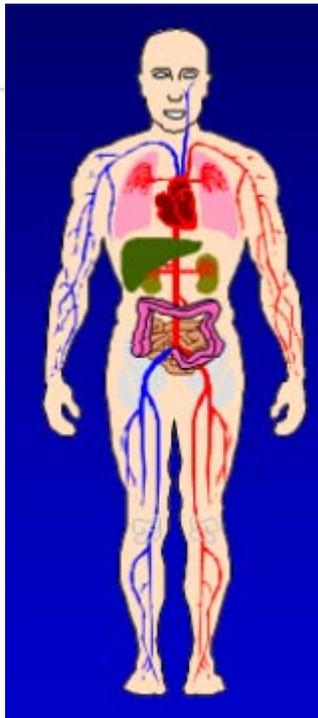
Facteur de pondération radiologique W_R

Rayonnements	Type et gamme d'énergie	W_R
Photons	Toute gamme d'énergie	1
Électrons (bêta)	Toute gamme d'énergie	1
Neutrons	$E_n < 0,01$ MeV	5
	$0,01 < E_n < 0,1$ MeV	10
	$0,1 < E_n < 2$ MeV	20
	$2 < E_n < 20$ MeV	10
	$E_n > 20$ MeV	5
Protons	$E_p > 2$ MeV	5
Alpha, Fragments de fission, Noyaux lourds	Toute gamme d'énergie	20

D) Coefficients tabulés



Facteur de pondération tissulaire Wt : Reflet du risque



TISSU OU ORGANE	CIPR 26 1977	CIPR 60 1991	CIPR 92 2003
Gonades	0.25	0.20	0.05
Moelle osseuse	0.12	0.12	0.12
Colon	-	0.12	0.12
Poumon	0.12	0.12	0.12
Estomac	-	0.12	0.12
Vessie	-	0.05	0.05
Seins	0.15	0.05	0.12
Foie	-	0.05	0.05
Œsophage	-	0.05	0.05
Thyroïde	0.03	0.05	0.05
Peau	-	0.01	0.01
Surface osseuse	0.03	0.01	0.01
Autres tissus ou organes (ensemble)	0.30	0.05	0.10

D) Coefficients tabulés



Dose par unité incorporée Sv/Bq (DPUI)

Pour convertir l'activité d'un radionucléide inhalé ou ingéré (Becquerel) en une dose efficace (Sievert), on utilise un facteur de dose exprimé en Sv.Bq^{-1} .

Les coefficients de dose (DPUI) tiennent compte:

- **du métabolisme** des radionucléides ingérés ou inhalés dans l'organisme, (transit intestinal, clairance pulmonaire)
- **du composé** physico-chimique associé au radionucléide,
- **de la radiosensibilité** des tissus (classes d'âges)

Radionucléide	Période radioactive	Type de clairance	DPUI (Sv.Bq^{-1}) inhalation par classe d'âges					
			3 mois	1 ans	5 ans	10 ans	15 ans	Adulte
^3H	12,3 ans	M	$3,4 \cdot 10^{-10}$	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$8,2 \cdot 10^{-11}$	$5,3 \cdot 10^{-11}$	$4,5 \cdot 10^{-11}$
^{14}C	$5,7 \cdot 10^3$ ans	M	$8,3 \cdot 10^{-9}$	$6,6 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$
^{90}Sr	29,1 ans	M	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-8}$	$5,1 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-8}$
^{131}I	8,04 jours	F	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$7,4 \cdot 10^{-9}$
^{137}Cs	30 ans	F	$8,8 \cdot 10^{-9}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$4,6 \cdot 10^{-9}$
^{238}U	$4,47 \cdot 10^9$ ans	M	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$9,4 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$

Evaluation de la dose efficace



Scenarii d'exposition
Dose Gy
Energie MeV
Activité Bq

Dose équivalente Sv
Voie d'exposition

W_R : facteur de pondération radiologique
 W_T : facteur de pondération tissulaire

DPUI : Dose par unité incorporée



Principe de radioprotection



Dose efficace mSv



Valeurs limites d'exposition (12 mois consécutifs)

Population considérée	Dose efficace	Dose équivalente aux mains, avant-bras, pieds, chevilles	Dose équivalente à la peau	Dose équivalente au cristallin
Catégorie A (décret 2003-296 du 31/03/2003 et/ou Art R. 4451-44 du CT)	≤ 20 mSv	≤ 500 mSv	≤ 500 mSv	≤ 150 mSv <i>Abaissée à 20</i>
Catégorie B, (comprend les Etudiants, apprentis de 16 à 18 ans) (décret 2003-296 et Art R.4451-46 CT, D4153-33 et 34)	≤ 6 mSv	≤ 150 mSv	≤ 150 mSv	≤ 45 mSv
Travailleurs non exposés Public (décret 2002-460 et/ou art.R.1333-8 du CSP)	≤ 1 mSv	≤ 50 mSv	≤ 50 mSv	≤ 15 mSv
Femme enceinte (Art. D4152-5-6-7)	Ne peut pas être affectée à des travaux requérant un classement en cat. A. L'exposition de l'enfant à naître entre la déclaration de grossesse et l'accouchement, doit être aussi faible que raisonnablement possible et être inférieure à 1 mSv.			

mSv par la directive 2013/59/Euratom

Quelle méthodologie pour classer un travailleur ?

La classification d'un travailleur est réalisée sur la base de son étude de poste, dans les conditions habituelles de manipulation et pour un temps de travail effectif.



- Définie par le chef d'établissement après avis du médecin du travail
- Examen médical attestant l'aptitude aux travaux l'exposant aux RI
- Surveillance médicale spéciale (1x/an)
- Formation à la sécurité (1x /3ans) portant sur les risques dus aux RI,
- Dosimétrie passive (cat. A: mensuelle, cat.B: trimestrielle B)
- Dosimétrie opérationnelle (intervention en zone contrôlée)

Le zonage, la signalisation



Défini par l'arrêté du 15 mai 2006 « *relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites... »*

Exposition externe et interne

Limite de dose efficace en μSv en 1h

$< 80 \mu\text{Sv}/\text{mois}$ ($0.5\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}/160\text{h}$)	< 7.5 ($< 6 \text{ mSv}/\text{an}$)	< 25 ($< 20 \text{ mSv}/\text{an}$)	<u>présence source</u> 
Zone publique	Zone surveillée	Zone contrôlée	
présence source 			

Zones spécialement réglementées →



Exposition externe des extrémités



Limite horaire (dose équivalente extrémités) en μSv en 1h

-	< 200 <i>(150mSv/an)</i>	200 - 650 <i>(< 500mSv/an)</i>	<u>présence source</u> 
Zone publique	Zone surveillée	Zone contrôlée	
Présence source 			

Zones spécialement réglementées →



Délimitation des zones (récapitulatif)

Les doses efficace et équivalentes sont calculées ou mesurées à l'aide d'un radiamètre aux points représentatifs d'un local qui reflètent les positions de travail des manipulateurs. (*en tenant compte des EPC*)

Zone	Unité	Limite de dose efficace	Limite de dose équivalente	Unité	Débit d'équivalent de dose au corps entier	Signalisation
Publique/ Attenante	mSv / mois	0,080	-	-	-	 Présence source
Surveillée	mSv en 1 h	0,0075	0,2	-	-	Zone surveillée  Accès réglementé
Contrôlée	mSv en 1 h	0,025	0,65	-	-	Zone contrôlée  Accès réglementé
ZSR C. jaune	mSv en 1 h	2	50	mSv.h ⁻¹	2	Zone contrôlée  Accès réglementé
ZSR C. orange	mSv en 1 h	100	2500	mSv.h ⁻¹	100	Zone contrôlée  Accès réglementé
INTERDITE rouge	mSv en 1 h	≥ 100	≥ 2500	mSv.h ⁻¹	≥ 100	Zone contrôlée  Accès interdit

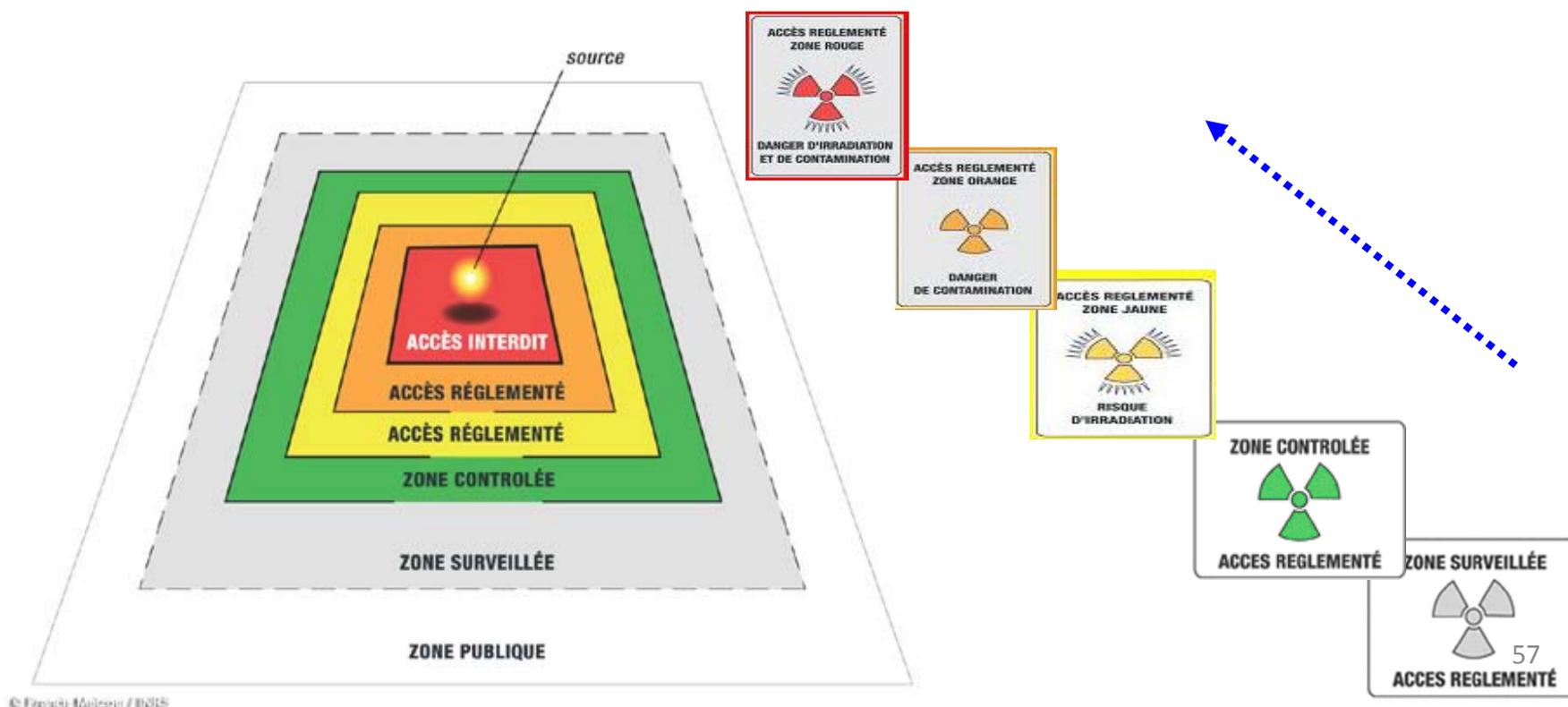
ZSR C. = Zone spécialement réglementée contrôlée jaune ou orange

Quelle méthodologie pour « zoner » ?

Evaluation des risques d'exposition (dose efficace et dose équivalente extrémités)

En se basant sur:

- Le terme source (caractéristiques de l'installation ou de la source)
- Les résultats des contrôles techniques et d'ambiance (cf: l'arrêté du 26 octobre 2005 « définissant les modalités de contrôle de radioprotection... »)
- Les équipements de protection collectives et les normes d'installation
- Les situations normales de travail représentatives des conditions de manipulation



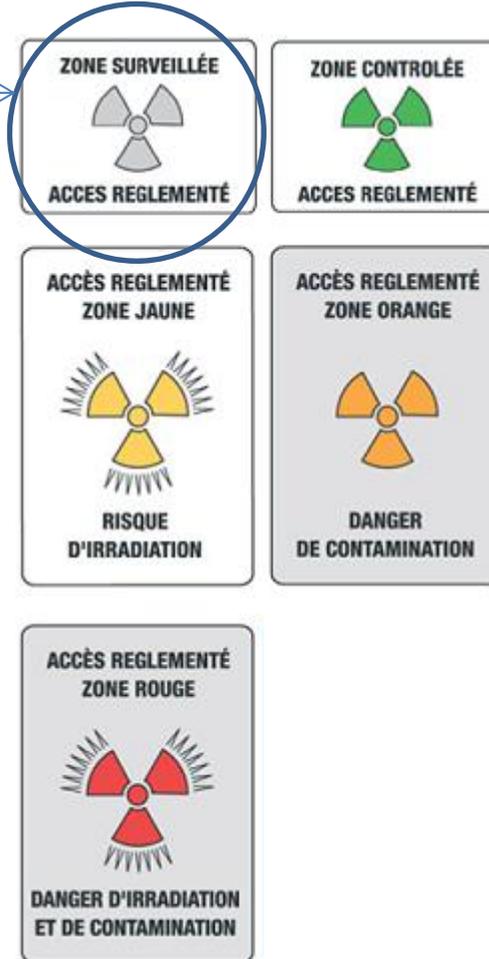
La signalétique obligatoire

Présence de source ou risque radioactif



Zonage « habituelle » dans les labos de recherches

Signalisation des zones



Consignes de sécurité et Conduite à tenir

EXEMPLE	CONSIGNE DE SECURITE	Unité- Code unité Date d'application :
---------	-----------------------------	---

POUR LA MANIPULATION DE RADIONUCLÉIDES - Salle

Risques au poste de travail :


Rayonnements ionisants

Exposition interne et externe au ^{32}P , ^3H , ^{14}C
en **ZONE SURVEILLÉE** (adapter)

Règles de sécurité à respecter :

- ✓ Gants, blouse et lunettes obligatoires

^{32}P	^3H	^{14}C
1,8.10 ⁵ Bq (50 µCi) max autorisé Travail derrière écran	370.10 ³ Bd (10 µCi) max autorisé Travail derrière écran	370.10 ³ Bq (10 µCi) max autorisé Travail derrière écran
Port du film dosimètre obligatoire		

- ✓ Avant et après la manipulation, contrôler qu'il n'y a pas de contamination au poste de travail et sur les poubelles froides (compteur GM pour ^{32}P et ^{14}C)
- ✓ Aucune source radioactive ne doit rester sur la pailleasse après la manipulation
- ✓ Interdiction de :
 - manipuler les sources à main nue
 - pipeter les solutions à la bouche
 - quitter ce poste de travail avec les gants et la blouse ayant servi aux manipulations
 - manger, boire et fumer dans ce local
- ✓ Gestion des déchets :
 - Trier les déchets par radionucléide et par nature : solides, liquides aqueux, liquides organiques.
 - Interdiction de mélanger les déchets de radionucléides différents sauf ^3H et ^{14}C (mais pas de solides avec des liquides : si le cas se présente, ils seront retournés au local d'origine pour tri). Les déchets sont régulièrement évacués vers le local (préciser) sous le contrôle de la personne compétente en radioprotection (voir plan de gestion des déchets)

AP et/ou PCR
(nom, signature)

Directeur d'unité
(nom, signature)

Institut de l'Institut ou du laboratoire	CONDUITE A TENIR EN CAS D'ACCIDENT RADIOACTIF	CS - acc.radio Date : xx/xx Version : xx
--	--	--

<p>En cas d'exposition externe ou interne accidentelle du manipulateur ou du poste de travail.</p> <p>Mesures à prendre immédiatement</p> <p><u>Externe et interne, prévenir :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> La Personne Compétente en Radioprotection au N° de tél : l'Assistant de prévention au N° de tél : le service médical au N° de tél : en cas d'absence, le SAMU 0-15 et indiquer : <ul style="list-style-type: none"> - le nom du laboratoire ou du service - le lieu précis (bât., étage, pièce) - votre nom et numéro de téléphone <p style="text-align: center;"><i>Ne jamais racrocher en premier</i></p> <p><u>Externe :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - En cas de projection cutanée ou oculaire laver abondamment à l'eau tiède pendant 10 minutes sans frotter et sécher avec du papier absorbant. Renouveler une à deux fois l'opération si nécessaire. <p><u>Interne :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Adressez-vous impérativement au service médical <p><u>Poste de travail :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Eviter tout déplacement inutile et interdire l'accès à la zone contaminée par balisage. - Procéder à la décontamination du poste de travail à l'aide du matériel réservé à cet effet. 	<p>En cas de perte, vol ou accident de sources radioactives, de produits ou appareils en contenant.</p> <p>Mesures à prendre immédiatement</p> <p><u>Prévenir :</u></p> <ol style="list-style-type: none"> le directeur du laboratoire au N° de tél : La Personne Compétente en Radioprotection au N° de tél : <p><u>Uniquement si vous n'arrivez pas à joindre les personnes listées ci-dessus, contacter :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ASN Division de Strasbourg Tél : 03 88 13 07 07 Fax : 03 88 13 07 06 Préfet du Bas-Rhin Tél : 03 88 21 67 68 <div style="background-color: red; color: white; text-align: center; padding: 5px;"> <p>Numéro vert d'urgence en cas d'incident radiologique (24h/24 - 7j/7) 0800.804.135</p> </div>
--	--

EXEMPLES DE CONSIGNES

EXEMPLE	CONSIGNE DE SECURITE	Unité- Code unité Date d'application :
---------	----------------------	---

Localisation : Labo/pièce N°

RISQUES AU POSTE DE TRAVAIL

<p>Travaux en Zone Surveillée Exposition externe – Manipulation de : « radionucléide » Activité manipulée : « Bq »</p>	 
---	--

REGLES DE SECURITE A RESPECTER

<p>Gants, blouse/combinaison, surchaussures/chaussures de labo obligatoires</p> <p>Interdiction de manger, boire ou fumer.</p> <p>Les effets personnels (portable, bijoux...) doivent être déposés au vestiaire</p>	   
---	---

- PORT DU DOSIMETRE PASSIF & EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELS OBLIGATOIRE
- L'accès en zone surveillée est réglementé. Il est interdit aux personnes extérieures à l'institut/lab, non accompagnées.
 - Seul le personnel habilité par le directeur de XXXXX est autorisé à intervenir en zone surveillée pour l'accès au local N°.
 - L'accès au local est interdit tant que :
 - Ex : le voyant rouge (présence faisceau) est allumé,
 - Ex : l'indication du détecteur gamma situé à l'intérieur du local est supérieure à 7,5 µSv/h
 - Avant toute intervention, la PCR réalise les contrôles de radioprotection (mesures de contamination surfacique et de débit de dose) et autorise ou restreint l'accès.
 - Le registre d'entrée/sortie en zone doit être renseigné.
 - Manipulation de sources non scellées (P-32, P-33) uniquement derrière un écran de protection acrylique et sur un plateau récupérateur muni d'un papier absorbant
 - Dans le cas de travaux de maintenance, l'opérateur doit porter une dosimétrie complémentaire : dosimètre d'extrémité et/ou dosimètre poignet.
 - En cas d'alarme sonore, (émis par une balise gamma, klaxon de porte ou de démarrage, alarme incendie) les opérateurs doivent immédiatement quitter la zone. Le contrôle de contamination (mains, pieds, vêtements) est obligatoire en sortie de zone.
 - Etiquetez les flacons et objets contaminés
 - Les déchets et effluents/solutions contaminés sont mis dans la poubelle ou bonbonne prévues à ces effets. AUCUN REJET A L'EVIER N'EST PERMIS

EN CAS DE DYSFONCTIONNEMENT OU D'ANOMALIE CONTACTER IMMEDIATEMENT LA PCR au : tél

EXEMPLE	CONSIGNE DE SECURITE	Unité- Code unité Date d'application :
---------	----------------------	---

POUR LA MANIPULATION DE RADIONUCLEIDES - Salle

Risques au poste de travail :

 <p>Rayonnements ionisants</p>	<p>Exposition interne et externe au ³²P, ³H, ¹⁴C en ZONE SURVEILLEE (adapter)</p>
---	---

Règles de sécurité à respecter :

- ✓ Gants, blouse et lunettes obligatoires



³² P	³ H	¹⁴ C
1,8.10 ⁶ Bq (50 µCi) max autorisé Travail derrière écran	370.10 ² Bq (10 µCi) max autorisé	370.10 ² Bq (10 µCi) max autorisé
Port du film dosimètre obligatoire		Port du film dosimètre obligatoire

- ✓ Avant et après la manipulation, contrôler qu'il n'y a pas de contamination au poste de travail et sur les poubelles froides (compteur GM pour ³²P et ¹⁴C)
- ✓ Aucune source radioactive ne doit rester sur la paillasse après la manipulation
- ✓ Interdiction de :
 - manipuler les sources à main nue
 - pipeter les solutions à la bouche
 - quitter ce poste de travail avec les gants et la blouse ayant servi aux manipulations
 - manger, boire et fumer dans ce local
- ✓ Gestion des déchets :

Trier les déchets par radionucléide et par nature : solides, liquides aqueux, liquides organiques. Interdiction de mélanger les déchets de radionucléides différents sauf ³H et ¹⁴C (mais pas de solides avec des liquides : si le cas se présente, ils seront retournés au local d'origine pour tri). Les déchets sont régulièrement évacués vers le local (préciser) sous le contrôle de la personne compétente en radioprotection (voir plan de gestion des déchets)

AP et/ou PCR
(nom, signature)

Directeur d'unité
(nom, signature)

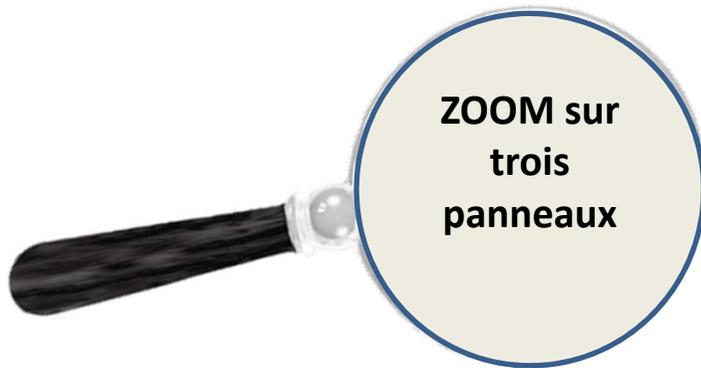
Intitulé de l'institut ou du laboratoire	CONDUITE A TENIR EN CAS D'ACCIDENT RADIOACTIF	CS – acc.radio
		Date : xx/aa
		Version : xx

En cas d'exposition externe ou interne accidentelle du manipulateur ou du poste de travail.	En cas de perte, vol ou accident de sources radioactives, de produits ou appareils en contenant.
<p style="color: red; text-align: center;">Mesures à prendre immédiatement</p> <p>Externe et interne, prévenir :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✦ La Personne Compétente en Radioprotection au N° de tél <li style="text-align: center;">ou ✦ l'Assistant de prévention au N° de tél <li style="text-align: center;">ou ✦ le service médical au N° de tél ✦ en cas d'absence, le SAMU 0-15 et indiquer : <ul style="list-style-type: none"> - le nom du laboratoire ou du service - le lieu précis (bât., étage, pièce) - votre nom et numéro de téléphone <p style="text-align: center;"><i>Ne jamais raccrocher en premier</i></p> <p>Externe :</p> <ul style="list-style-type: none"> - En cas de projection cutanée ou oculaire laver abondamment à l'eau tiède pendant 10 minutes sans frotter et sécher avec du papier absorbant. Renouveler une à deux fois l'opération si nécessaire. <p>Interne :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adressez-vous impérativement au service médical <p>Poste de travail :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eviter tout déplacement inutile et interdire l'accès à la zone contaminée par balisage. - Procéder à la décontamination du poste de travail à l'aide du matériel réservé à cet effet. 	<p style="color: red; text-align: center;">Mesures à prendre immédiatement</p> <p>Prévenir :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✦ le directeur du laboratoire au N° de tél <li style="text-align: center;">ou ✦ La Personne Compétente en Radioprotection au N° de tél <p>En cas d'absence, contacter sans attendre :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✦ ASN Division de Strasbourg Tél : 03 88 13 07 07 Fax : 03 88 13 07 06 ✦ Préfet du Bas-Rhin Tél : 03 88 21 67 68 <div style="background-color: red; color: white; text-align: center; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p style="margin: 0;">Numéro vert d'urgence en cas d'incident radiologique (24h/24 - 7j/7)</p> <p style="font-size: 2em; margin: 0;">0800.804.135</p> </div>

EXEMPLE: Conduite à tenir

En cas d'accident radioactif

Note: En cas d'accident radioactif, une déclaration d'évènement significatif au titre de la radioprotection (ESR) doit être faite à l'ASN



&



OBLIGATION RÉGLEMENTAIRE



Signale la présence d'une source ou d'un risque radioactif.
C'est un danger de proximité.

Conduite à tenir: ne pas s'approcher à moins de 30 cm, la portée du danger radioactif étant limitée



Affichage au niveau des portes/entrées d'un local. Le travail dans cette zone peut présenter un risque d'exposition aux rayonnements ionisants.

En 1 h, l'exposition peut atteindre au maximum 7,5 μ Sv (ZS) et 25 μ Sv (ZC)

En 1h, c'est **75 X** plus (ZS) et **250 X** plus (ZC) que le niveau naturel,

En 1h, c'est **133 X** moins (ZS) et **40 X** moins (ZC) que la limite publique annuelle (travailleur non exposé < 1 mSv par an).

Quelles sont les précautions à prendre si une intervention en « ZONE SURVEILLEE » ou en « ZONE CONTROLÉE » est nécessaire:

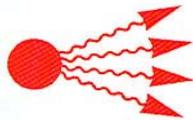
- ZS ou ZC \longrightarrow présence de sources \longrightarrow autorisation ASN \longrightarrow Personne compétente en Radioprotection (interlocuteur et personne à contacter).
- PCR: Son rôle sera de mettre les sources en stockage, d'arrêter les manips si possible et de veiller à ce que durant votre intervention le risque d'exposition soit le plus faible possible. A noter que le panneau ZS, même en l'absence de danger (momentanément) ne peut pas être retiré. (ZC peut être intermittent)
- La PCR vous précisera les consignes de sécurité, la conduite à tenir, les EPI à porter et pourra vous remettre un dosimètre (+ DOP en ZC).

Les moyens de protection



En cas de risque d'exposition externe

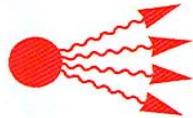
• Écran



- γ, X : matériaux lourds (plomb, acier, etc.)
- β, e^- : matériaux légers (verre plexiglas, etc.)

**Loi exponentiel,
ou parcours**

• Distance



- S'éloigner de la source
- Utiliser des pinces
- etc.

**Inversement proportionnel
au carré de la distance (γ, X)**

• Temps



- Réduire le temps d'exposition
- Optimiser la gestuelle
- Pas d'improvisation !

Proportionnalité simple

Les moyens de protection

En cas de risque d'exposition interne « contamination »



La propreté, c'est l'affaire de tous

Confinement

(plan de travail dédié et délimité, écran, manipulation sous sorbonne ou en boîte à gants)

Ordre et préparation

(blouse, gants, lunettes, matériels dédiés, bac, papier absorbant, tri et recueil des déchets)

Propreté

(contrôle systématique et régulière du poste de travail (gants, matériels...) avec des sondes adaptées, respect des consignes)

Savoir faire

(entraînement, protocole détaillé → « démarche qualité »)

= SECURITE

Dans la pratique...



Manipulation en
boites à gants



Manipulation sous sorbonne



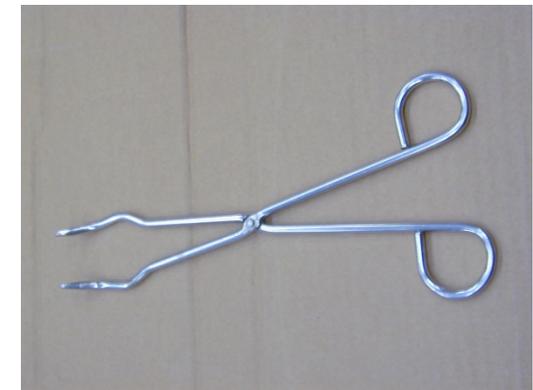
Tenue de protection adaptée
et contrôle régulier de
contamination



N'hésiter pas à porter
deux paires de gants



Utilisation de protection plombée
ou d'écran adapté



Manipulation de sources à distance
avec des pincettes
NE JAMAIS MANIPULER à MAINS NUES

Radioprotection auprès des accélérateurs

Les référentiels



Directive 96/29 Euratom du 13/05/1996

Transposition par ordonnance du 28 mars 2001
et modification du Code de la santé publique
et du code du travail.

La réglementation (Droit Français)

Code de la santé publique : Prévention des risques sanitaires liés à l'environnement et au travail – chapitre III: Rayonnements ionisants (principalement les articles CSP : L1333-1 à 112)

Code du travail: Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants (principalement les articles CDT : R.4451-1 à 144)

Arrêtés d'application, circulaires DGT/ASN, Décisions ASN

Publié le 01/02/2013

Accélérateurs de particules, radionucléides émetteurs de positons et de produits en contenant



Demande d'autorisation de détenir et d'utiliser un accélérateur de particules (cyclotron) et demande d'autorisation de fabriquer, de détenir et d'utiliser des radionucléides émetteurs de positons et de produits en contenant (Formulaire AUTO/RN/FABCYC)

 **Notice AUTO/RN/FABCYC/NT**
(DOC - 267,00 ko)

 **AUTO/RN/FABCYC**
(PDF - 148,47 ko)

 **AUTO/RN/FABCYC**
(DOC - 219,00 ko)

Appareils électriques émettant des rayons x ou des accélérateurs de particules



Autorisation d'utilisation des appareils électriques émettant des rayons x ou des accélérateurs de particules (à l'exclusion des utilisations sur l'homme ou de la recherche biomédicale) (Formulaire IND/GE/001)

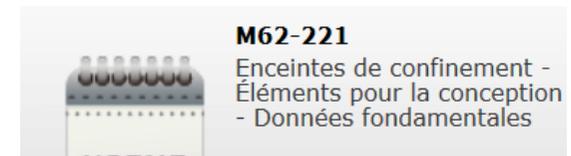
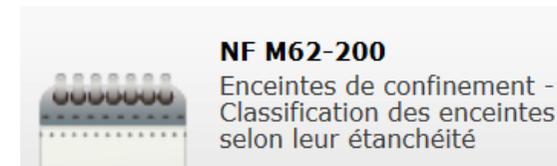
 **IND/GE/001**
(PDF - 344,97 ko)

NF M62-105 Décembre 1998

Énergie nucléaire - Accélérateurs industriels : installations

Sommaire

0 Introduction	6
1 Domaine d'application	6
2 Références normatives	7
3 Définitions	7
4 Classification des "installations" en fonction des risques	11
5 Règles générales de conception et de réalisation des installations	14
6 Protection contre les risques électriques	15
7 Protections radiologiques	16
8 Protection contre les risques induits par les matières dangereuses provenant de l'exposition des matériaux aux rayonnements ionisants	19
9 Sécurités - Accès - Signalisations	21
10 Réception et vérification des installations	26
Annexe A (normative) Vocabulaire - Définitions	27
Annexe B (normative) Textes réglementaires cités	29
Annexe C (informative) Exemple de document de sécurité	30
Annexe D (normative) Compléments au document de sécurité - Seuils d'application	32
Annexe E (informative) Exemple de calcul de protection pour un accélérateur d'électrons	33



Les acteurs... L'autorité de contrôle

ASN – Autorité de Sûreté Nucléaire (Inspection et instruction)

IRSN – Institut de Radioprotection de Sûreté Nucléaire. (Expertise technique)



Inspecteurs ASN



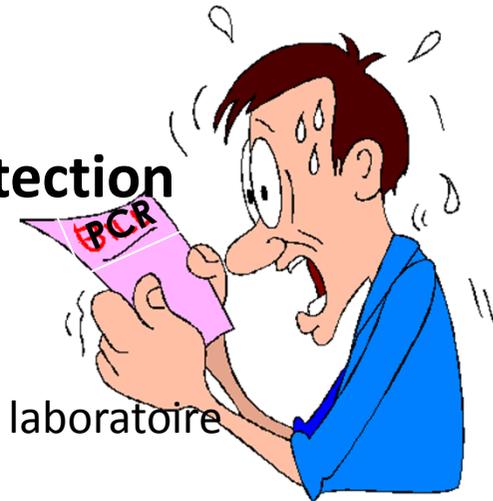
Chef d'établissement – Directeur(ice)

Le titulaire de l'autorisation ASN

Il s'agit du responsable de « l'activité nucléaire » (généralement le(a) directeur(ice) du laboratoire, personne physique ou morale qui a obtenu l'autorisation après instruction d'un dossier de détenir et d'utiliser des substances radioactives, ou d'appareils électriques générateurs de RI ou d'accélérateurs.

La Personne ou le Service compétent en radioprotection (PCR – SCR)

Elle met en œuvre de manière opérationnelle la prévention du risques radiologiques et l'organisation de la radioprotection dans le laboratoire



Identification des risques radiologiques

Nature du risques	Origine	Type de rayonnement	Etat de la machine	Ex: de parades possibles
Irradiation (exposition externe)	Réaction du faisceau sur les structures/ cibles	Gamma, Neutrons	En fonctionnement	Accès interdit/ restriction d'accès
	Activation résiduelle des structures/ciblerie	émetteurs β, γ , (α)	A l'arrêt	Blindage, T, D
Contamination atmosphérique (→ exposition interne par inhalation)	Activation de l'air: (^{41}Ar , ^{15}O , ^{13}N , ^{11}C ...)	émetteurs β, γ	En fonctionnement	CTA
Contamination surfacique (→ exposition interne par contact)	Dépôts de matières radioactives (poussières, aérosols, fluides contaminés)	émetteurs β, γ , (α)	En fonctionnement/ A l'arrêt	Propreté, vérification, décontamination

Simulation mathématique des débits de doses Gamma et neutron
par le code de calcul « FLUKA »

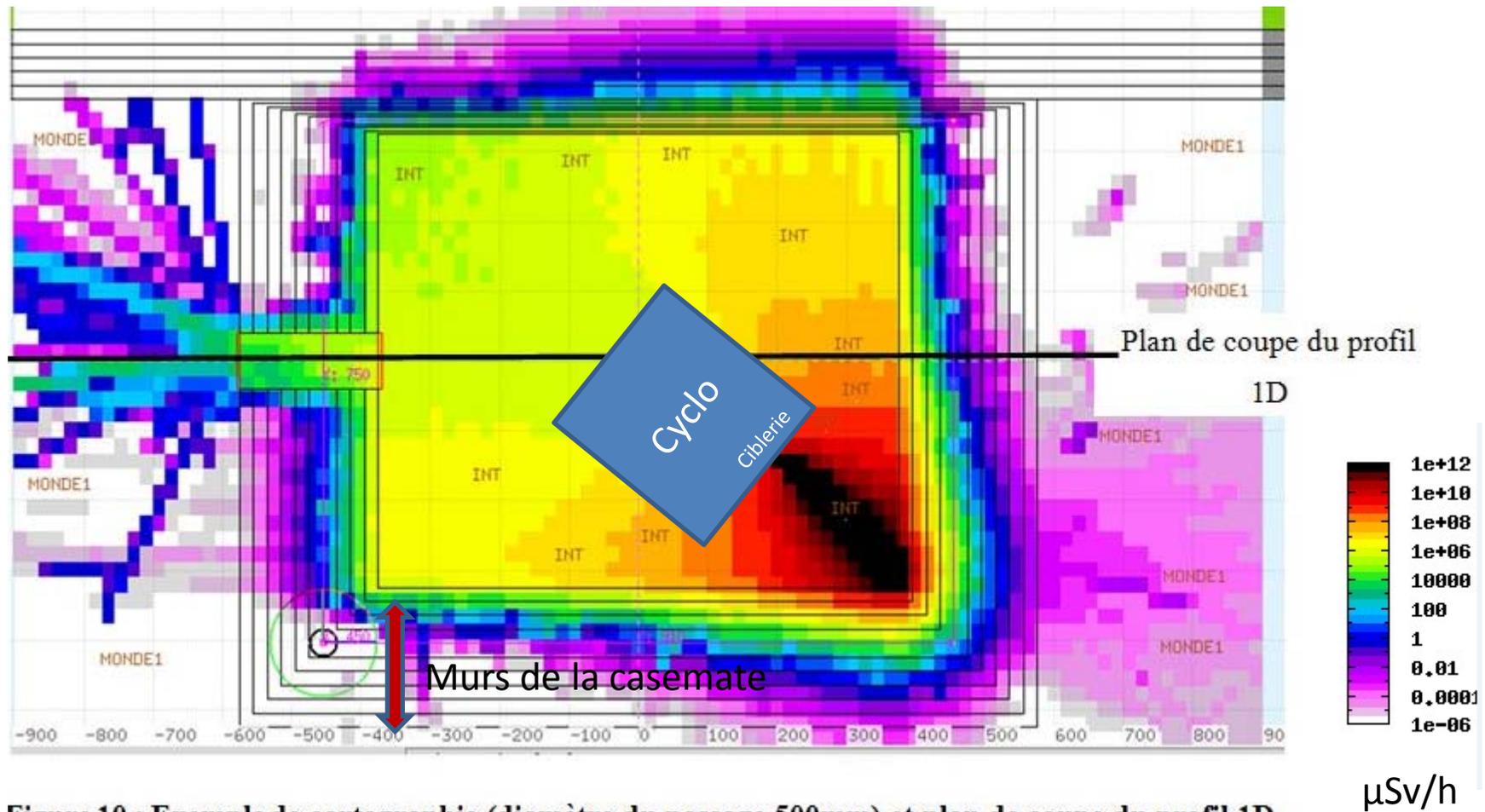
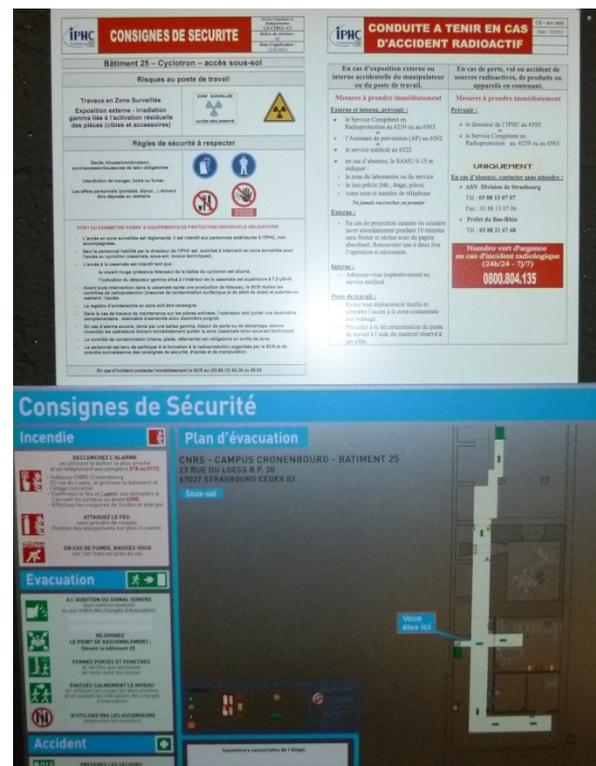


Figure 10 : Exemple de cartographie (diamètre du passage 500mm) et plan de coupe du profil 1D

Les points clés qui concourent à la sécurité radiologique auprès d'un accélérateur



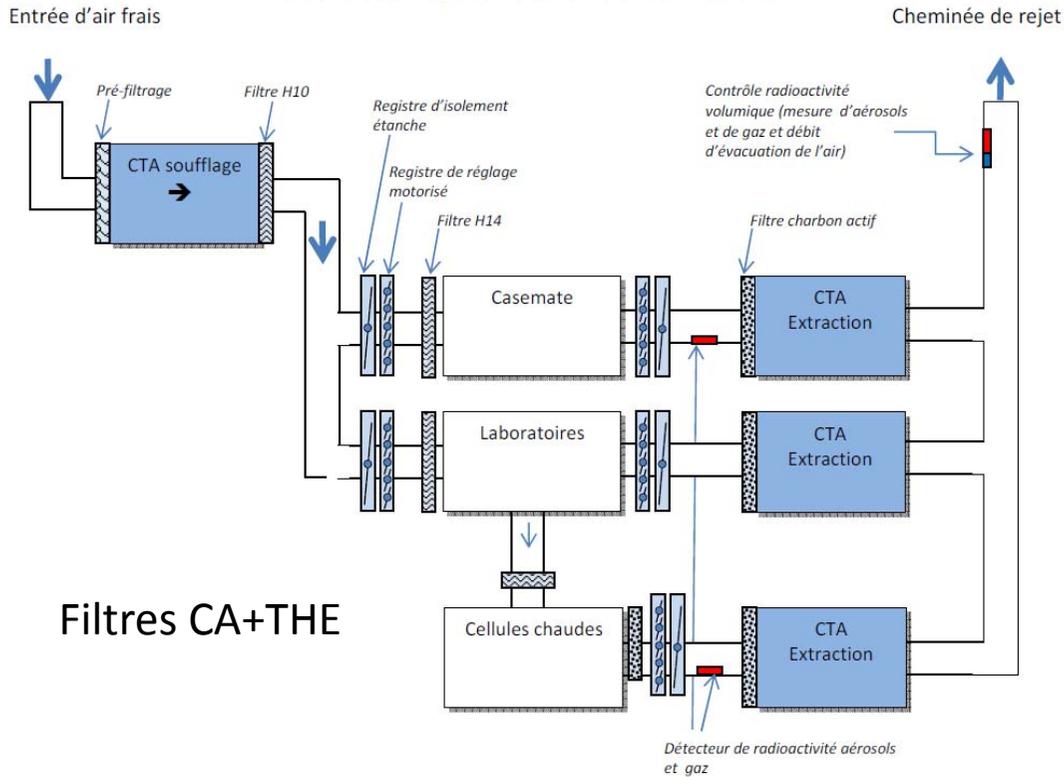
Le contrôle d'accès



La signalisation des zones de risque radioactif et l'affichage des consignes de sécurité et conduite à tenir en cas d'accident

Centrale de traitement de l'air (CTA)

Schéma de principe du traitement d'air de l'installation



Filtres CA+THE

$V_{\text{totale}}: \sim 15000 \text{ m}^3/\text{h}$ (Cyrce)

Filtrations (*entrée – sortie (rejets)*)
 Renouvellement de l'air (7 à 10 horaires)
 Mise en dépression des zones (*protection des travailleurs*)

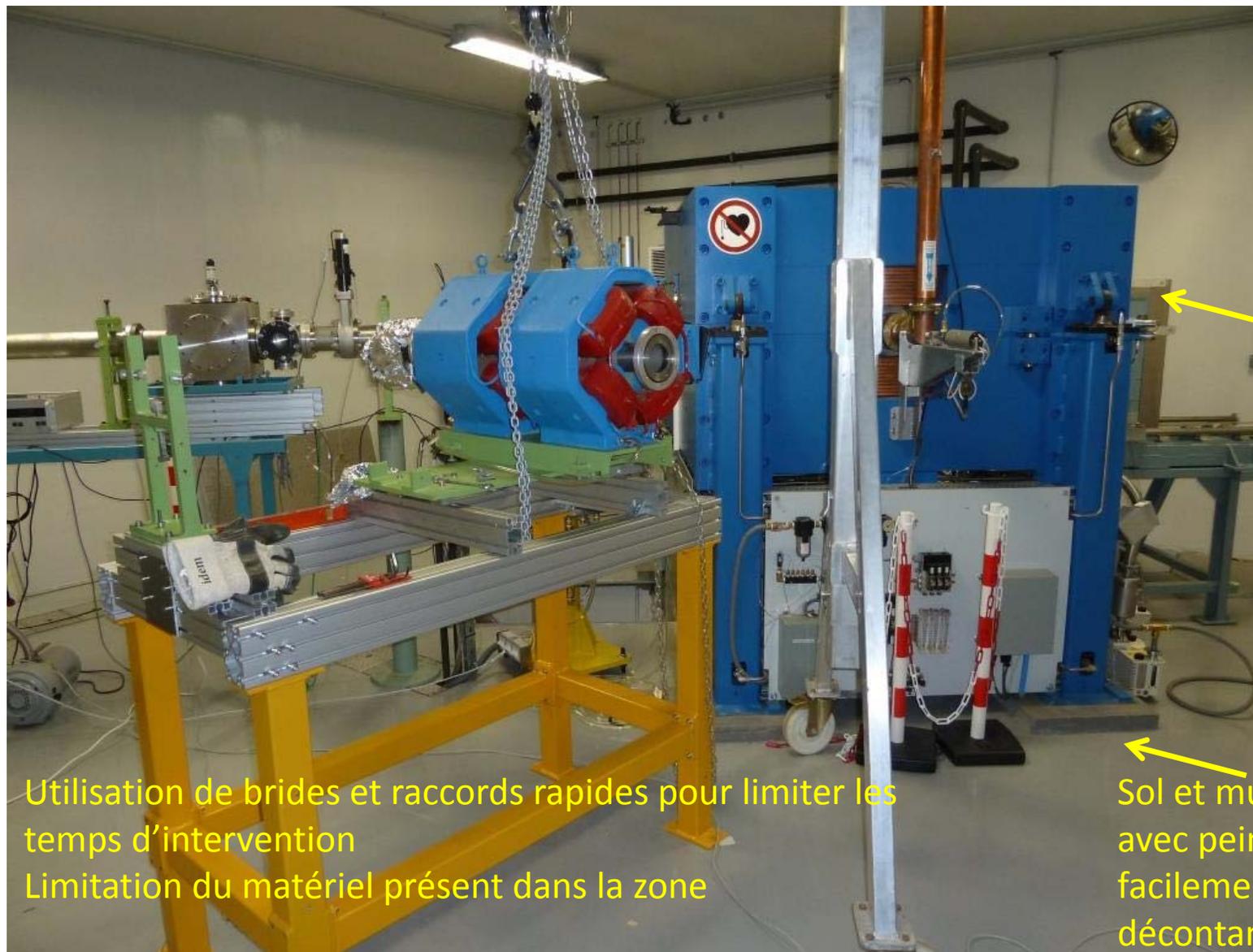


Enceinte de confinement (Casemate)

Caractéristiques : 2m d'épaisseur de béton
Porte bouchon chicanée avec joint d'étanchéité
Sol de casemate surélevé (2 cm)



Cyclotron – IPHC Strasbourg : extension seconde ligne en cours de montage (janvier 2016)



Enceinte de 10cm de plomb (mobile) autour de la source de production de F-18

Sol et murs lisses avec peinture époxy facilement décontaminable

Utilisation de brides et raccords rapides pour limiter les temps d'intervention
Limitation du matériel présent dans la zone

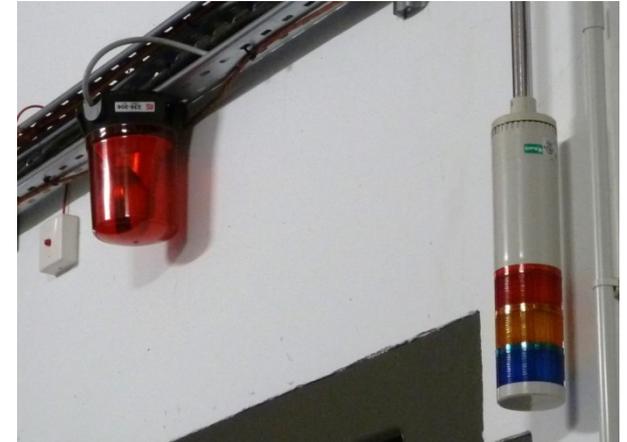
Choix de matériaux pour minimiser l'activation neutronique (Période courte, section efficace faible)

Dispositifs de sécurité

Clef de rondier (unique)



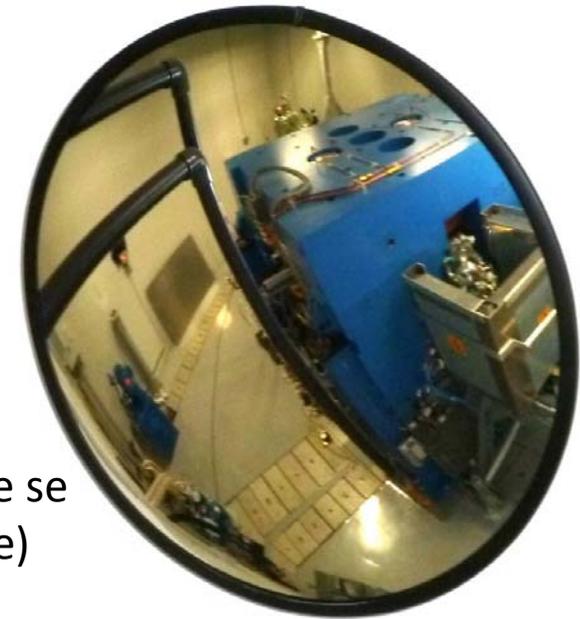
Gyrophare (lumineux et sonore) de fermeture de la casemate et colonne lumineuse indiquant l'état de la machine



Arrêt d'urgence et armement de la sécurité fermeture de porte avec temporisation (80s)



Miroir permettant de s'assurer qu'aucun agent ne se trouve dans la casemate (à l'arrière de la machine)



Note: Sécurité de fermeture de porte par micro switch

Temporisation d'ouverture (renouvellement de l'air) + asservissement au DD(γ)

1: Mesure du débit de dose γ (asservissement porte)

2: Détecteur canne dans gaine de ventilation (contrôle des rejets + asservissements)

3: Contaminamètre grande surface (contrôle des opérateurs et des locaux (frottis))

4: Perche à distance pour la mesure du débit de dose



Equipements de protection individuels et dosimétrie

- **Vêtements et chaussures de travail, gants, charlottes**



Tapis de
décontamination
auto-adhésif
(pelable)

Dosimétrie (passive et active)

- 1: Dosimètre passif RPL
- 2: Dosimètres actifs (électroniques avec borne de lecture + DATI (en bas à gauche de la photo)
- 3: Dosimètre passif d'extrémité (Bague TLD)

Dosimétrie externe passive (γ, X, β)



Dosimétrie opérationnelle (β, γ et γ, N)



Pour en savoir plus....

Sites internet:

- Autorité de sûreté nucléaire : www.asn.fr
- Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire : www.irsn.fr
- Legifrance : www.legifrance.gouv.fr
- « Le portail de la radioprotection pratique et opérationnelle » : www.rpcirkus.org
- Guide de radioprotection « les cahiers de prévention » du CNRS
<http://www.sg.cnrs.fr/cnps/guides/radioprotection.htm> (JP MANIN, C. THIEFFRY...)
- Guide d'enlèvement des déchets radioactifs édité par l'ANDRA
<http://www.andra.fr>

Livres:

- **Personne Compétente en Radioprotection EDP Sciences CEA-INSTN**
(Radioprotection pratique pour l'industrie et la recherche – sources non scellées)
- **Radionucléide & Radioprotection EDP sciences CEA**