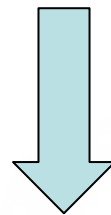


Les rayonnements:

Unités, doses, réglementation



LA RADIOPROTECTION



Ecole « Matériaux pour le vide et les rayonnements ionisants
Roscoff – 30 septembre 2008

Denis OSTER (IPHC)

Sommaire

- 1. Introduction**
- 2. Classification et caractéristiques des rayonnements**
- 3. Unités et grandeurs**
- 4. Evaluation de la dose efficace**
- 5. Valeurs limites d'exposition**
- 6. Exemple d'évaluation (Industrie)**
- 7. Le zonage et la signalisation**
- 8. Les moyens de protection – exposition externe et interne**
- 9. La détection des rayonnements**
- 10. Pour en savoir plus...**

1. Introduction



Plus de 40 ans d'évolution des dispositions réglementaires relatives à la protection des travailleurs contre le dangers des rayonnements ionisants.



Des pionniers (Röntgen en 1895, Marie Curie en 1911), avec des protections inexistantes aux normes de Radioprotection et de sécurité d'aujourd'hui

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.



On peut citer:

- **Décret 2002-460 du 04/04/2002 relatif à la protection générale des personnes contre les dangers des RI.**
- **Décret 2003-296 du 31/03/2003 relatif à la protection des travailleurs contre les RI.**
- **Arrêtés d'application :**
 - **30/12/2004 relatif au suivi dosimétrique**
 - **26/10/2005 relatif à la formation de la PCR**
 - **26/10/2005 relatif aux contrôles de radioprotection**
 - **15/05/2006 relatif aux « zonages »**



Les acteurs...



Inspecteur

L'autorité de contrôle

ASN – Autorité de Sûreté Nucléaire

IRSN – Institut de Radioprotection de Sûreté Nucléaire.



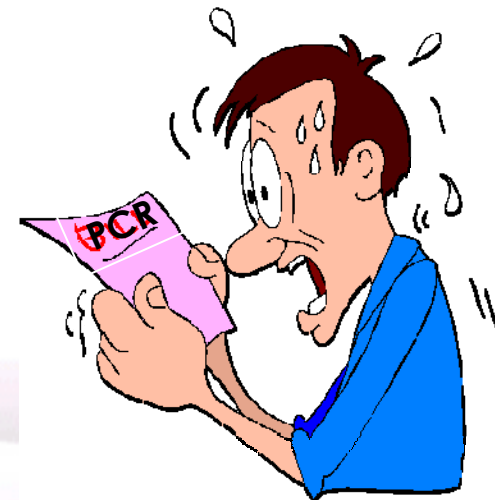
Chef d'établissement

Demandeur de l'autorisation

de détenir et d'utiliser des substances radioactives, ou d'appareils électriques générateurs de RI.

Mise en œuvre

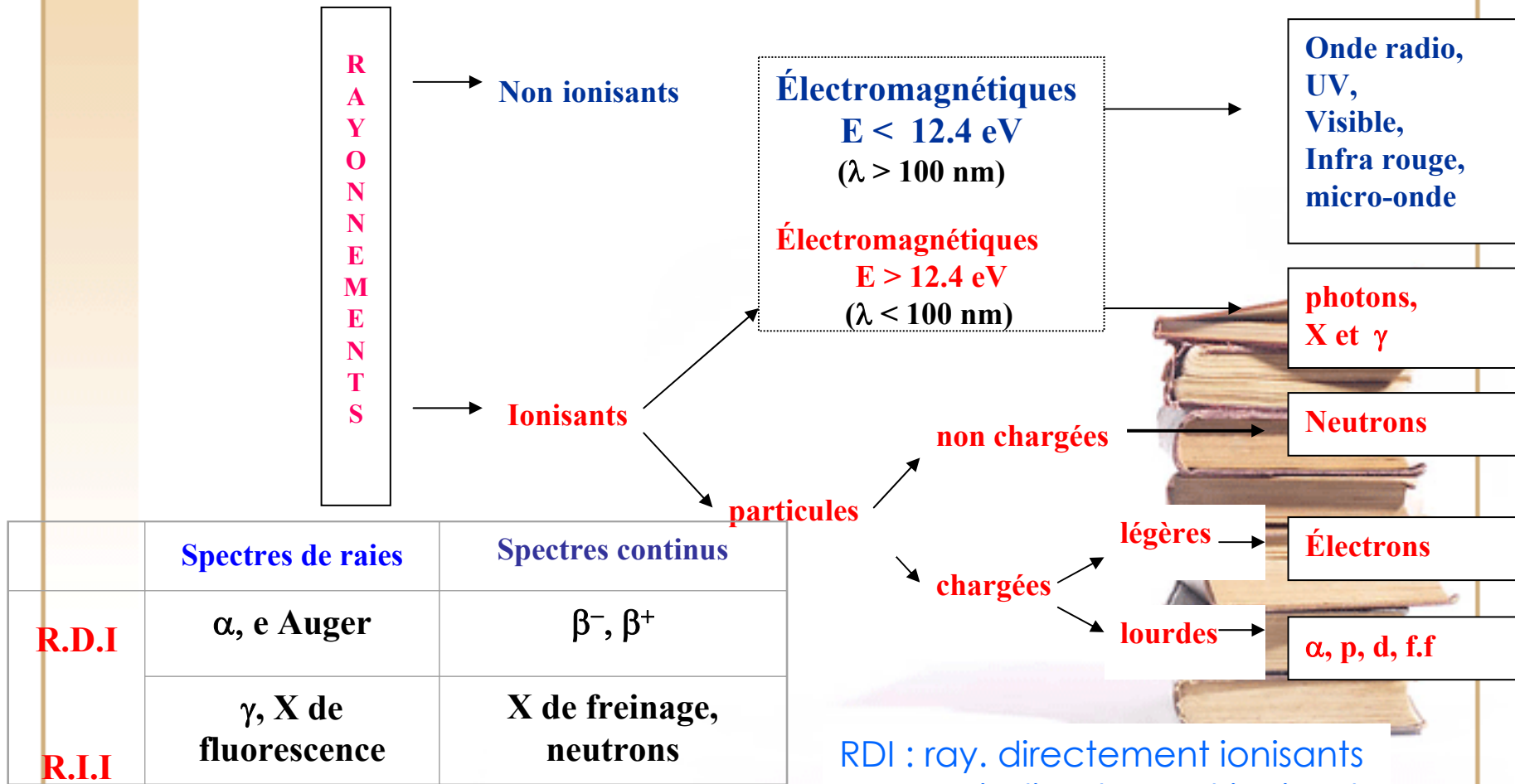
opérationnelle de la radioprotection et de la prévention



Personne compétente (service) en radioprotection

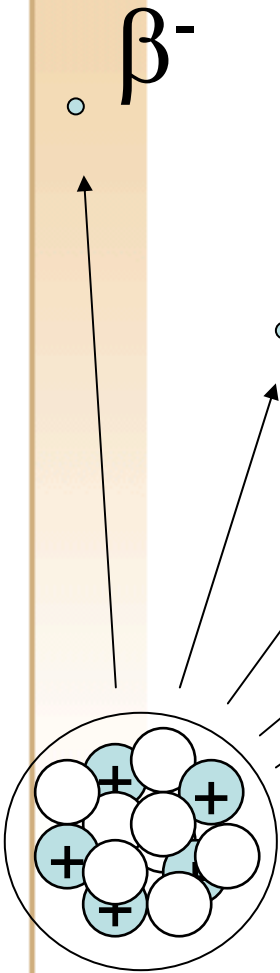
2. Classification et caractéristiques des rayonnements

Selon leurs effets sur la matière

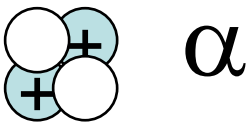


RDI : ray. directement ionisants
 RII : ray. indirectement ionisants
 ff : fragments de fission

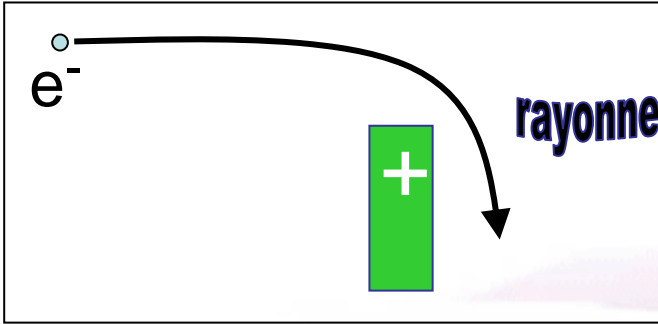
Origine des rayonnements



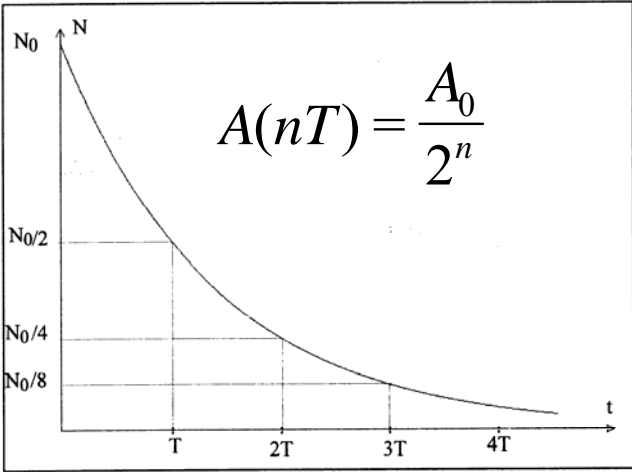
noyau



γ



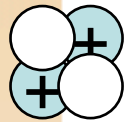
Cortège électronique



Décroissance radioactive



Arrêt/ Atténuation des rayonnements



α

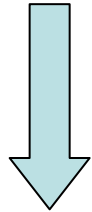


Papier

ou

qq cm
dans l'air

β^-



Plexi

0.1 à 1 cm
($< 2 \text{ MeV}$)

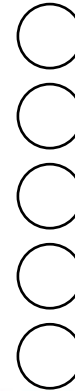
γ, X



Plomb

3.8 cm =
x1/10
pour le
Co-60

n



Eau, béton

(ralentisseur +
absorbant)

Désintégration alpha (α)



α = noyau d'He

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

Particules très ionisantes

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
${}^{232}\text{Th}$	4.0	2.6	0.0034
${}^{210}\text{Po}$	5.3	3.9	0.0051
${}^{218}\text{Po}$	6.0	4.7	0.0061
${}^{212}\text{Po}$	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)

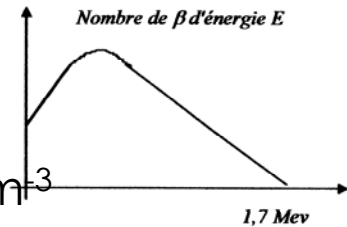


Émission d'un électron ou d'un positron : spectre continu $\langle E_{\beta} \rangle = 1/3 E_{\max}$

Calcul d'écran de protection :

$$R(\text{cm}) = \frac{0,412 E_{\max}^n}{\rho} \quad \text{avec } n = 1.265 - 0,0954 \ln E \quad E \text{ en MeV}$$

$\rho =$ 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)

Caractéristiques : Rayonnement électromagnétique

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

Émission gamma, X : Spectre de raies

Atténuation d'un faisceau de photons :

- ✓ Épaisseur de l'écran
- ✓ Nature et état physique du milieu
- ✓ Énergie et nombre des photons

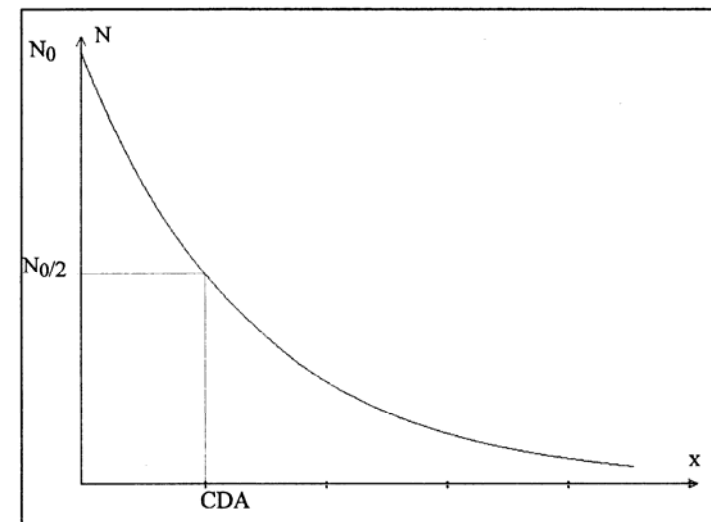
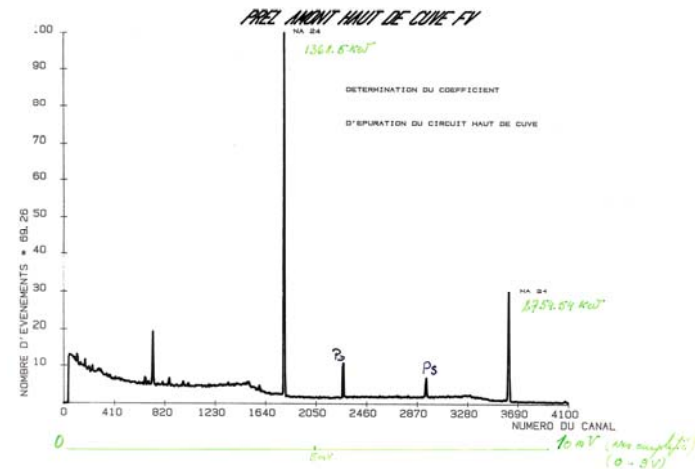
Loi d'absorption : $D = B.D_0 e^{-\mu x}$

D= débit de dose absorbée (à l'entrée et sortie) à l'écran

B= facteur d'accumulation de dose, Dans le cas de la loi simplifiée B=1

μ = coefficient d'atténuation linéique

X = épaisseur de l'écran



Atténuation des photons (γ, X)

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

- Moitié = diminution du débit de dose d'un facteur 2 (cm)
- Dixième = diminution du débit de dose d'un facteur 10 (cm)

Radionucléide	E (MeV)	X1/2 Plomb cm	X1/10 Plomb cm	X1/2 Béton cm	X1/10 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 en profondeur

Les neutrons (${}^1_0\text{N}$)

Classification des neutrons



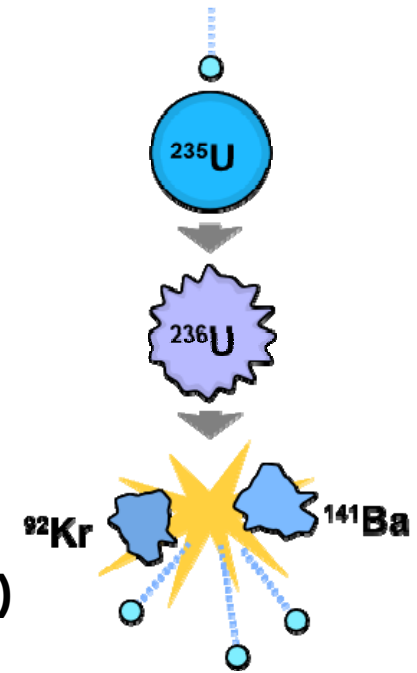
Modes d'interaction

- ✓ diffusion élastiques et inélastique : **rapides**
- ✓ capture : **thermique** ${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^1_0n \rightarrow {}^{28}_{13}\text{Al} + \gamma(\text{prompt})$
- ✓ fission

Atténuation des neutrons

Loi d'atténuation exponentielle

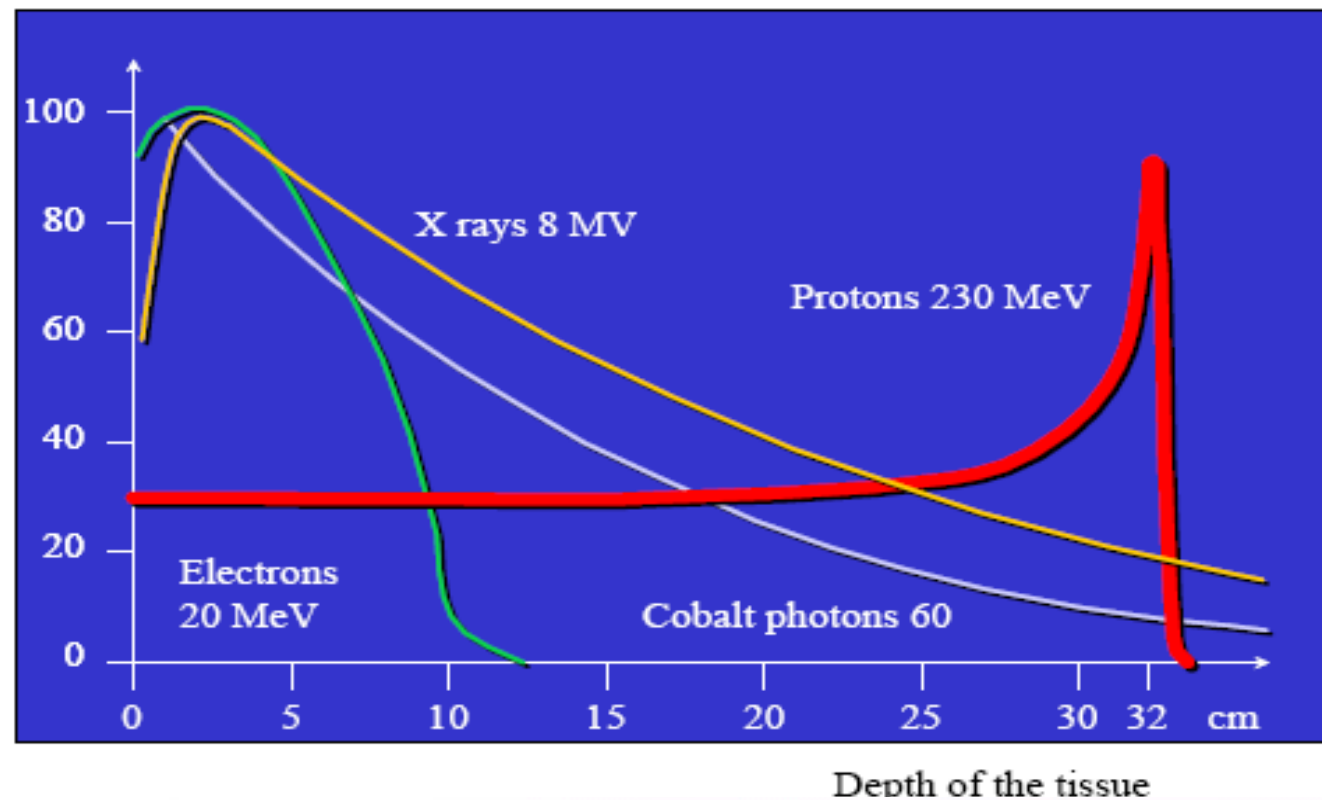
En 2 étapes : ralentissement par chocs successifs (eau, paraffine) puis absorption (neutrophage bore, Cadmium)



Exemple d'une réaction de fission

Exemple d'interaction et d'atténuation des rayonnements appliqués au traitement de tumeurs

Relative dose deposited in the tissue



3. Unités, grandeurs de radioprotection et grandeurs opérationnelles

- ✓ Activité (A) : [Bq] Becquerel
- ✓ Dose (D): [Gy] Gray $D = \frac{dE}{dm}$
- ✓ Dose équivalente: (H) [Sv] Sievert $H = \sum(D) \times W_R$
- ✓ Dose efficace : (E) [Sv] Sievert $E = \sum(H) \times W_T$
- ✓ Débit de dose: (D) [Gy/h] [μ Gy/h]
- ✓ Débit d'équivalent de dose: (H) [Sv/h] [μ Sv/h]
- ✓ Transfert linéique d'énergie: (TLE) [MeV/cm]
- ✓ Énergie: (E) [MeV] [->Joule]
- ✓ Débit de fluence: [Particules ou photons/cm².s]
- ✓ Section efficace : Barns [b] 1 barn= 10⁻²⁴cm²

Réception

Emission
 $\alpha, \beta, \gamma, X, N, p$

Activité Bq

Nombre de désintégration/s
(ou débit de fluence)

Dose (D)

Energie ou rayonnement
reçue en gray (Gy)

Dose équivalente: (H)
Dose efficace: (E)

Effet de la quantité d'énergie
absorbée en sievert (Sv)



Energie transmise Gy

Quantité d'énergie cédée
par unité de masse



4. 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 Sv



Evaluation de la dose efficace

Voies d'exposition :

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

Caractéristiques du terme source :

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

Scenarii d'exposition

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

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})

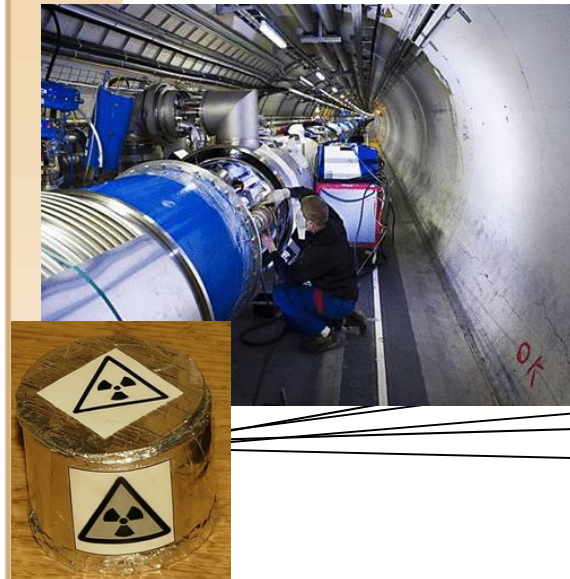


VOIE D'EXPOSITION : Exposition externe

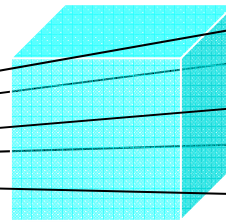
La source est à l'extérieur de l'organisme

Terme source

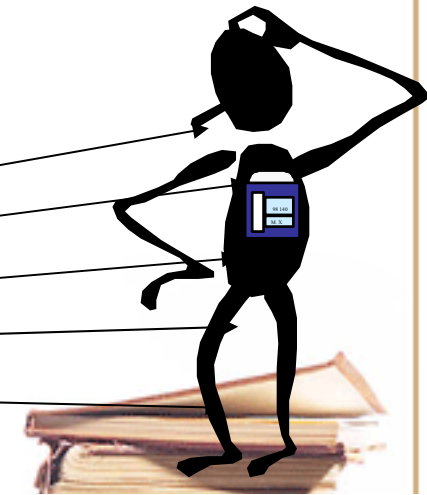
Travailleur



Matière inerte



α
 β
 γ, X
 N, p



Dose absorbée D (Gy)

Dose efficace E (Sv)

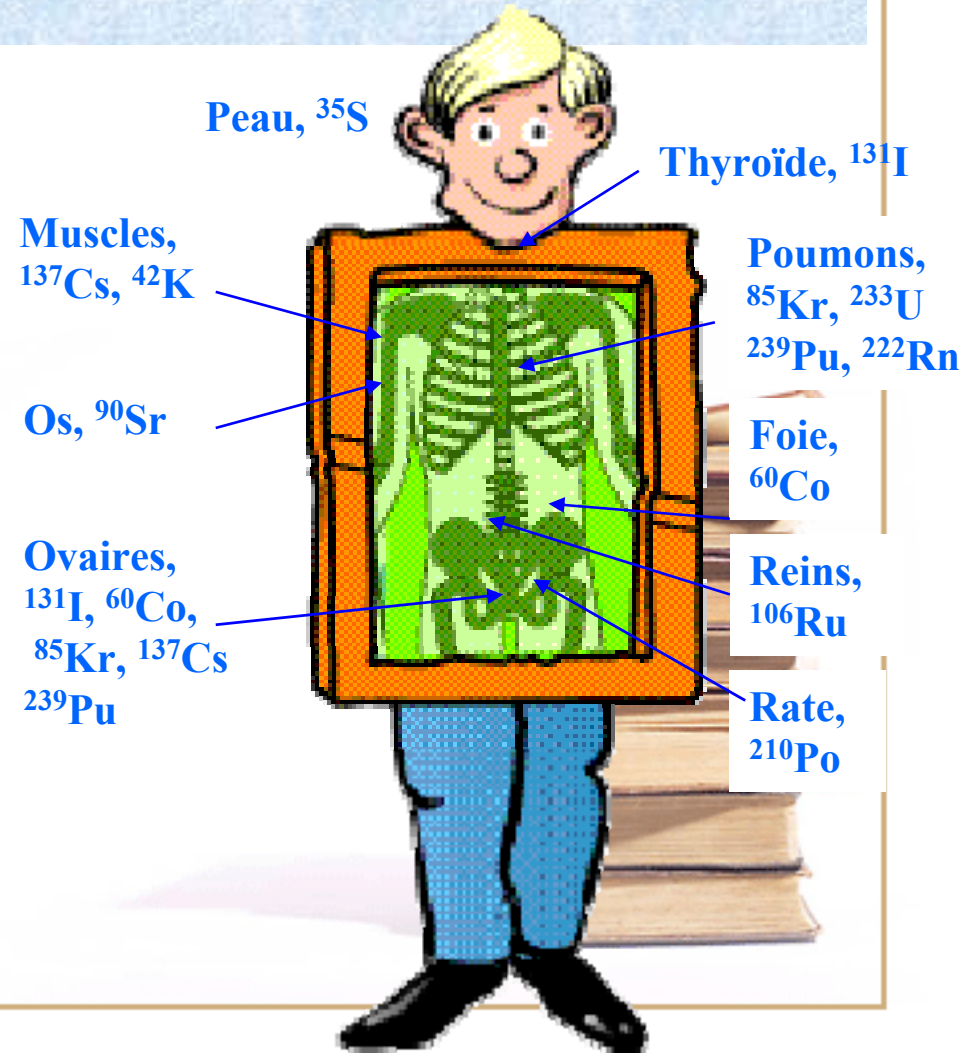
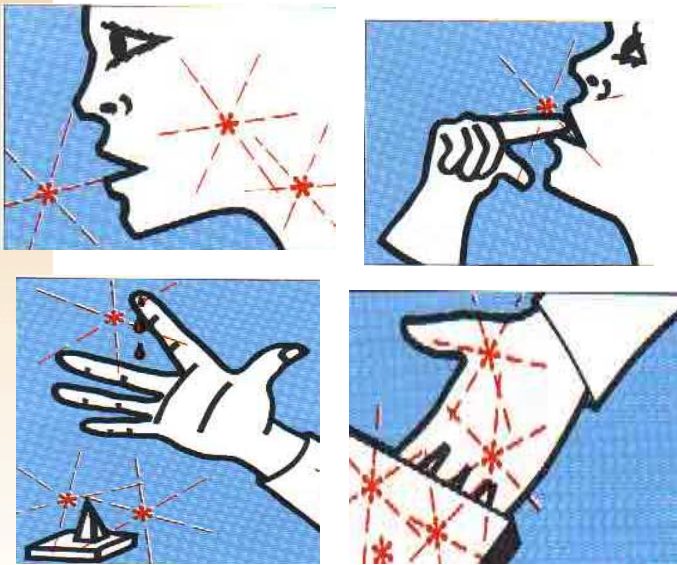


Source radioactive,
générateur RX ou
accélérateurs de
particules



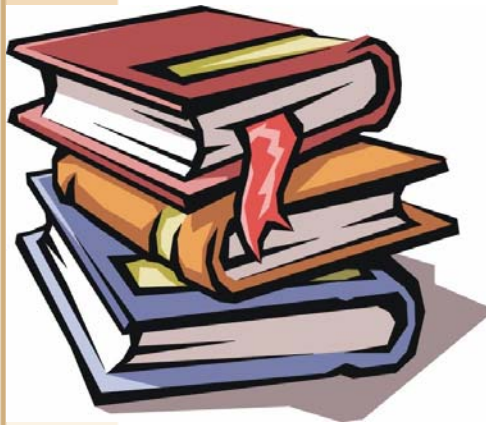
VOIE D'EXPOSITION : Exposition interne

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



Caractérisation du terme source

Détermination du terme source :

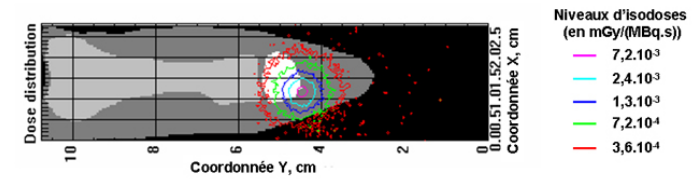


Bibliographie

REX



Mesures



Modélisation par code de calcul
MCNP, Mercurad, Geant...



Facteur de pondération radiologique

	Type et gamme d'énergie	W_R
Photons	$\forall E$	1
Électrons, muons	$\forall E_e ; E_\mu$	1
Neutrons	$E_n < 0,01 \text{ MeV}$	5
	$0,01 < E_n < 0,1 \text{ MeV}$	10
	$0,1 < E_n < 2 \text{ MeV}$	20
	$2 < E_n < 20 \text{ MeV}$	10
	$E_n > 20 \text{ MeV}$	5
Protons	$E_p > 2 \text{ MeV}$	5
Alpha, Fragments de fission, Noyaux lourds	$\forall E$	20

Facteur de pondération tissulaire

Tissu ou organe	W_T (%)
Gonades	8
Moelle rouge	12
Colon	12
Poumons	12
Estomac	12
Vessie	4
Seins	12
Foie	4
Oesophage	4
Thyroïde	4
Peau	1
Surface des os	1
Cerveau	1
Glandes salivaires	1
Autres tissus ou organe	12
Total	100

Dose par unité incorporée Sv/Bq (DPUI)

Arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

Pour les personnes du public

Tableau 1.2

Doses efficaces engagées par unité d'incorporation par ingestion, en sievert par becquerel, applicables aux personnes du public, ainsi qu'aux jeunes âgés de seize à dix-huit ans qui sont amenés à être exposés aux rayonnements ionisants dans le cadre de leurs études (sauf descendants du radon 222 et du radon 220)

NUCLÉIDE	PÉRIODE physique	ÂGE 1 a		ÂGE > 1 a	1-2 a	2-7 a	7-12 a	12-17 a	> 17 a
		f _i pour g 1 a	h(g)		f _i pour g > 1 a	h(g)	h(g)	h(g)	h(g)
Hydrogène :									
Eau tritiée.....	12,3 a	1,000	6,4.10 ⁻¹¹	1,000	4,8.10 ⁻¹¹	3,1.10 ⁻¹¹	2,3.10 ⁻¹¹	1,8.10 ⁻¹¹	1,8.10 ⁻¹¹
OBT.....	12,3 a	1,000	1,2.10 ⁻¹⁰	1,000	1,2.10 ⁻¹⁰	7,3.10 ⁻¹¹	5,7.10 ⁻¹¹	4,2.10 ⁻¹¹	4,2.10 ⁻¹¹
Béryllium :									
Be-7.....	53,3 j	0,020	1,8.10 ⁻¹⁰	0,005	1,3.10 ⁻¹⁰	7,7.10 ⁻¹¹	5,3.10 ⁻¹¹	3,5.10 ⁻¹¹	2,8.10 ⁻¹¹
Be-10.....	1,60.10 ⁶ a	0,020	1,4.10 ⁻⁸	0,005	8,0.10 ⁻⁹	4,1.10 ⁻⁹	2,4.10 ⁻⁹	1,4.10 ⁻⁹	1,1.10 ⁻⁹

Doses efficaces engagées par unité d'incorporation par inhalation d'aérosols, en Sv.Bq⁻¹, applicables aux personnes du public ainsi qu'aux jeunes âgés de 16 à 18 ans qui sont amenés à être exposés aux rayonnements ionisants dans le cadre de leurs études (sauf descendants du radon 222 et du radon 220)

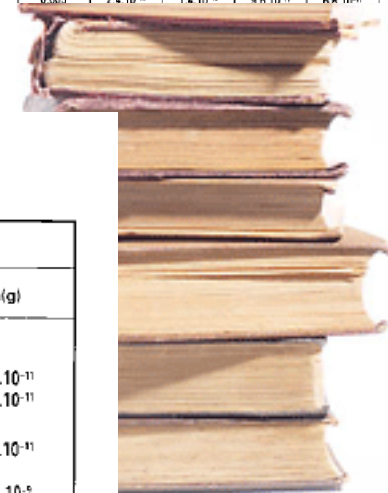
NUCLÉIDE	PÉRIODE physique	TYPE d'absorption	ÂGE 1 a		ÂGE > 1 a	1-2 a	2-7 a	7-12 a	12-17 a	> 17 a
			f _i	h(g)		f _i	h(g)	h(g)	h(g)	h(g)
Hydrogène :										
H-3.....	12,3 a	F	1,000	2,6.10 ⁻¹¹	1,000	2,0.10 ⁻¹¹	1,1.10 ⁻¹¹	8,2.10 ⁻¹²	5,9.10 ⁻¹²	6,2.10 ⁻¹²
		M	0,200	3,4.10 ⁻¹⁰	0,100	2,7.10 ⁻¹⁰	1,4.10 ⁻¹⁰	8,2.10 ⁻¹¹	5,3.10 ⁻¹¹	4,5.10 ⁻¹¹
		S	0,020	1,2.10 ⁻⁹	0,010	1,0.10 ⁻⁹	6,3.10 ⁻¹⁰	3,8.10 ⁻¹⁰	2,8.10 ⁻¹⁰	2,6.10 ⁻¹⁰
Béryllium :										
Be-7.....	53,3 j	M	0,020	2,5.10 ⁻¹⁰	0,005	2,1.10 ⁻¹⁰	1,2.10 ⁻¹⁰	8,3.10 ⁻¹¹	6,2.10 ⁻¹¹	5,0.10 ⁻¹¹
		S	0,020	2,8.10 ⁻¹⁰	0,005	7,4.10 ⁻¹¹	1,4.10 ⁻¹⁰	9,6.10 ⁻¹¹	6,8.10 ⁻¹¹	6,5.10 ⁻¹¹

Pour les travailleurs

Tableau 3.1

Doses efficaces engagées par unité d'incorporation par inhalation et par ingestion, en Sv.Bq⁻¹, applicables aux travailleurs exposés

NUCLÉIDE	PÉRIODE physique	INHALATION			INGESTION		
		Type	f _i	h(g) _{1,um}	h(g) _{4,um}	f _i	h(g)
Hydrogène :							
Eau tritiée.....	12,3 a		Doses par inhalation : voir tableau 2.1			1,000	1,8.10 ⁻¹¹
OBT.....	12,3 a		Doses par inhalation : voir tableau 2.1			1,000	4,2.10 ⁻¹¹
Béryllium :							
Be-7.....	53,3 d	M	0,005	4,8.10 ⁻¹¹	4,3.10 ⁻¹¹	0,005	2,8.10 ⁻¹¹
		S	0,005	5,2.10 ⁻¹¹	4,6.10 ⁻¹¹		
Be-10.....	1,60.10 ⁶ a	M	0,005	9,1.10 ⁻⁹	6,7.10 ⁻⁹	0,005	1,1.10 ⁻⁹
		S	0,005	3,2.10 ⁻⁹	1,9.10 ⁻⁹		



Les trois grands principes de la radioprotection

La justification des pratiques

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

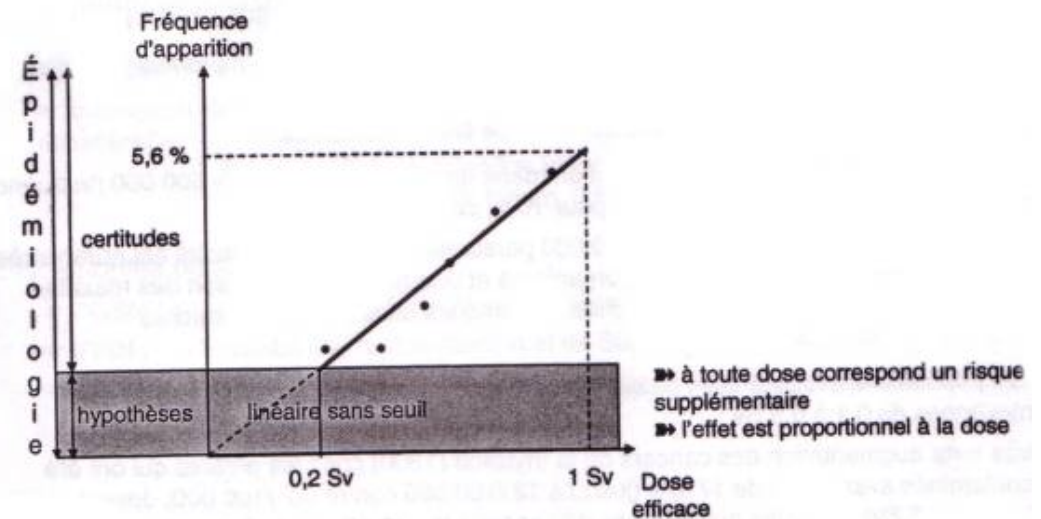
L'optimisation des expositions

Principe « ALARA - As Low As Reasonably Achievable »

La limitation des doses d'exposition

Respect des doses efficaces réglementaires

✓ Effets stochastiques : relation dose-effet



5. 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)	≤ 20 mSv	≤ 500 mSv	≤ 500 mSv	≤ 150 mSv
Catégorie B, Etudiants, apprentis de 16 à 18 ans (décret 2003-296)	≤ 6 mSv	≤ 150 mSv	≤ 150 mSv	≤ 45 mSv
Travailleurs non exposés Public (décret 2002-460)	≤ 1 mSv	(≤ 50 mSv)	≤ 50 mSv	≤ 15 mSv
Femme enceinte	Exposition de l'enfant à naître en dessous de 1mSv			

6. Exemple d'évaluation de la dose efficace

Industrie de fabrication de briques réfractaires

Voie d'exposition:

- irradiation (exposition externe)
- inhalation de poussières (exposition interne)
- ingestion (exposition interne – exclue dans ce cas)



Terme source :

Bq.kg⁻¹



Dénomination	Chaine de l'uranium 238	Chaine de l'uranium 235	Chaine du thorium 232	K-40
BAUXITE (en vrac et en sac)	347 ± 26	21 ± 3	329 ± 12	84 ± 12

Scénarii de travail

Description du poste	Scénario d'exposition	Voie d'exposition
Opérateur du mélange des matières premières	Base : 1700 heures/ an	Irradiation + poussières + radon
Opérateurs de presse	Base : 1700 heures/ an	Irradiation + poussières + radon
Opérateur de chargement des fours	Base : 1700 heures / an	Irradiation
Opérateur de fabrication des produits non façonnés	Base : 850 heures / an	Irradiation + poussières + radon

Les coefficients tabulés

Radon 222 sur les lieux de travail : $1.4 \text{ mSv} = 1 \text{ mJ.h.m}^{-3}$ soit avec un débit respiratoire standard de $1.2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$: $1 \text{ mSv} = 0.86 \text{ mJ}$

Radon 220 sur les lieux de travail : $0.5 \text{ mSv} = 1 \text{ mJ.h.m}^{-3}$ soit avec un débit respiratoire standard de $1.2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$: $1 \text{ mSv} = 2.4 \text{ mJ}$

Chaîne de l'uranium 238	DPUI en Sv/Bq Inhalation (>17 ans) (émetteurs α vie longue)	Chaîne du Thorium 232	DPUI en Sv/Bq Inhalation (>17 ans) (émetteurs α vie longue)
U-238	$2.90 \cdot 10^{-6}$	Th-232	$2.50 \cdot 10^{-5}$
U-234	$3.50 \cdot 10^{-6}$	Th-228	$4.00 \cdot 10^{-5}$
Th-230	$1.40 \cdot 10^{-5}$	-	-
Ra-226	$3.50 \cdot 10^{-6}$	-	-
Po-210 (+ Pb-210)	$4.40 \cdot 10^{-6}$	-	-
Σ (U-238)	$28.30 \cdot 10^{-6}$	Σ (Th-232)	$65.00 \cdot 10^{-6}$

Limites travailleurs

Corps entier : 1mSv,

Mains, avant bras, pieds, chevilles : 50 mSv

Evaluation de la dose efficace

$$E = E_{\text{externe}} + E_{\text{interne}}$$

avec E = Dose efficace totale

E_{externe} = Dose efficace résultant de l'exposition externe

E_{interne} = Dose efficace résultant de l'exposition interne

$$E_{\text{externe}} = DD\gamma \text{ nSv.h}^{-1} \times 1700 \text{ heures}$$

$$E_{\text{interne}} = 1700 \text{ h} \times 1.2 \text{ m}^3.\text{h}^{-1} \times \frac{EAP_{\text{VC}}(^{222}\text{Rn})}{0.86\text{mJ}} + \frac{EAP_{\text{VC}}(^{220}\text{Rn})}{2.4\text{mJ}} + \frac{EAP_{\text{VL}}(^{238}\text{U})}{35} + \frac{EAP_{\text{VL}}(^{232}\text{Th})}{15}$$

$E = \text{dose efficace} < 1 \text{ mSv}$ (Evaluée à 0.26 mSv par an max dans cette étude)




Conclusion : Les travailleurs de cette entreprise ne sont pas soumis à une exposition radioactive supérieure aux limites des personnes du public

7. 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 annuelle (dose efficace) en mSv

< 1	1 - 6	6-20	
Zone publique	Zone surveillée	Zone contrôlée	
<u>présence source</u>			
			

Limite horaire (dose efficace) en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

Zone publique	Zone surveillée	Zone contrôlée	Zone contrôlée (spécialement réglementée)
			  
< 80 $\mu\text{Sv}/\text{mois}$ 0.5 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}/160\text{h}$	< 7.5	< 25	< 2000 < 100000 E < 2mSv < 100mSv <u>interdite</u>

Exposition externe des extrémités

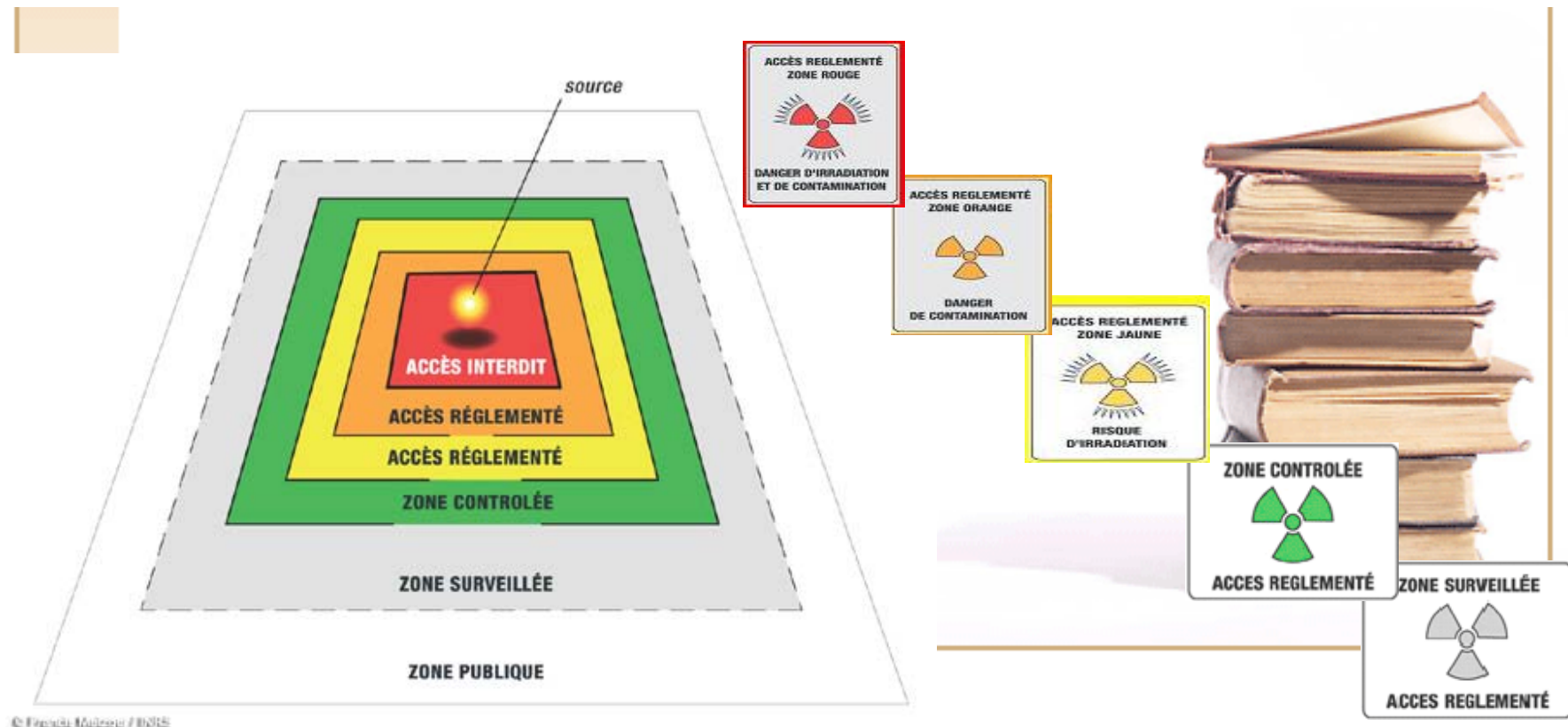
Limite annuelle (dose équivalente extrémités) en mSv			
(< 50)	50-150	150-500	
Zone publique	Zone surveillée	Zone contrôlée	
présence source 			
Limite horaire (dose équivalente extrémités) en $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$			
Zone publique	Zone surveillée	Zone contrôlée	Zone contrôlée (sp. réglementé)   
(< 65)	< 200 (65 - 200)	200 - 650	< 50000 < 250000 > 250000

Quelle méthodologie pour « zoner »

Evaluation des niveaux 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



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.



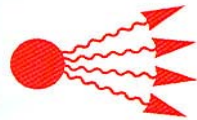
- Définie par le chef d'établissement après avis du médecin du travail
- Examen médical attestant l'aptitude aux travaux l'exposant aux RI
- Surveillance médicale spéciale (1x/an)
- Formation à la sécurité (1x /3ans) portant sur les risques dus aux RI,
- Dosimétrie passive (mensuelle A, trimestrielle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



8. 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

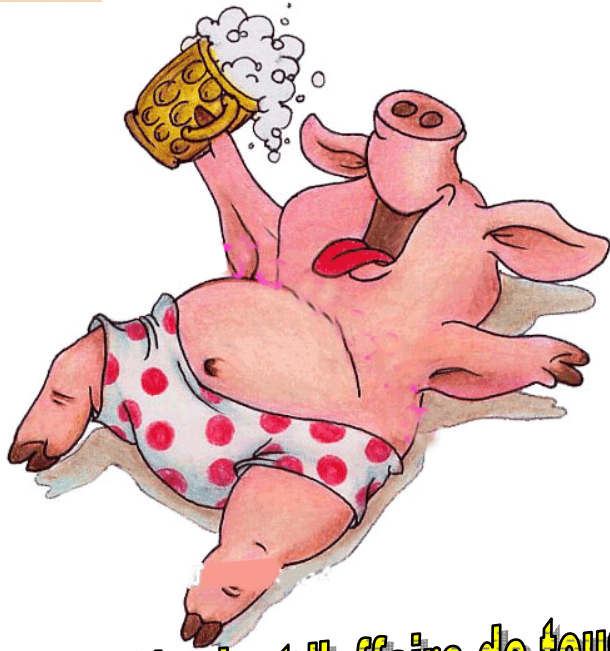


- Réduire le temps d'exposition
- Optimiser la gestuelle
- Pas d'improvisation !

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

9. Détection des rayonnements

Le principe d'un détecteur est de :

- Recueillir tout ou une partie de l'énergie du rayonnement incident; énergie cédée au milieu détecteur qu'il traverse,
- Transformer les phénomènes d'interaction en signal électrique, lumineux, visible ou audible.

$\mu\text{Sv.h}^{-1}$
 $\mu\text{Gy.h}^{-1}$

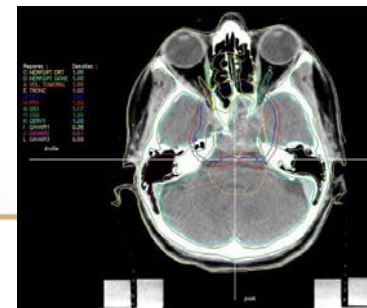
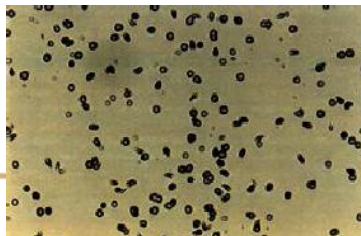
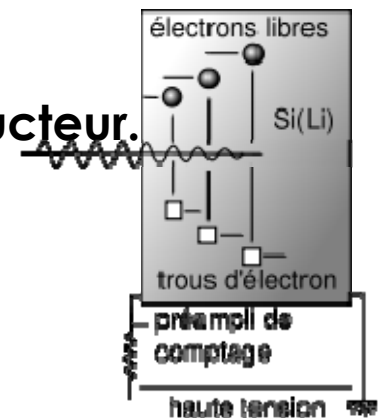
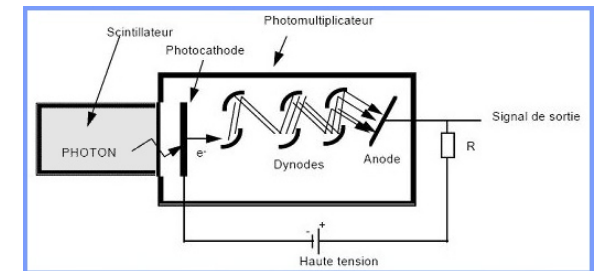
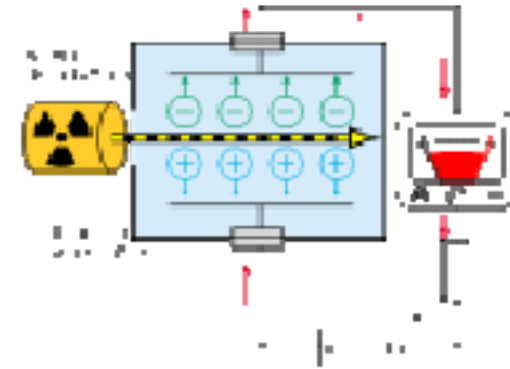
coups/s
Imp/s
Choc/s

Bq/cm^2
 Bq/L ,
 Bq/m^3



Caractéristiques du détecteur selon la nature des interactions; on peut citer:

- **L'ionisation**, (arrachement ou expulsion de l'électron d'un atome du milieu détecteur) et collection des charges;
- **La scintillation**, (excitation atomique; l'électron est déplacé sur une couche périphérique du cortège (moins liée), il retrouve son niveau énergétique (réarrangement du cortège électronique) de départ par l'émission d'un photon lumineux (UV ou Visible))
- **La création de porteurs libres**, (création de charges + et - mobiles (paire d'électrons de conduction trou))- semi-conducteur.
- **Les effets particuliers** (noircissement, piégeages de charges dans un cristal, décharge, échauffement...)



Détection des rayonnements

Les appareils de mesure utilisés en radioprotection peuvent être classés en 3 catégories:

- Les dosimètres personnels,
(Dosimètre passif et opérationnel $H_p(10)$, $H_p(0.07)$)**
- Les appareils de radioprotection « de terrain »,
(Mesure de débit de dose – irradiation
et de contamination)**
- Les systèmes de laboratoire (analyses fines).**

Dosimètre personnel (passif)

Le futur dosimètre personnel passif du CNRS mis en place par L' IPNO+IPHC courant 2009

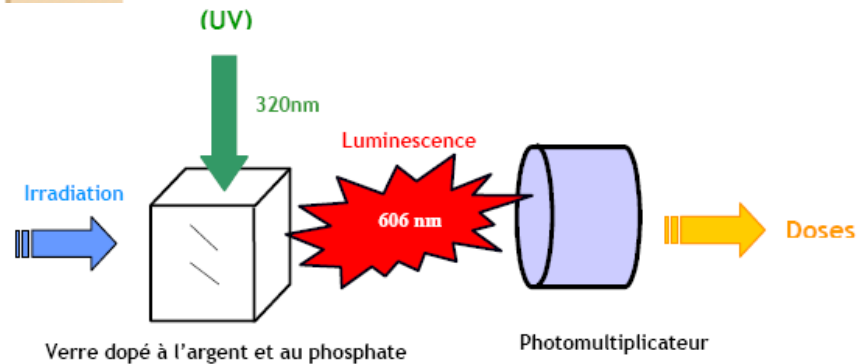
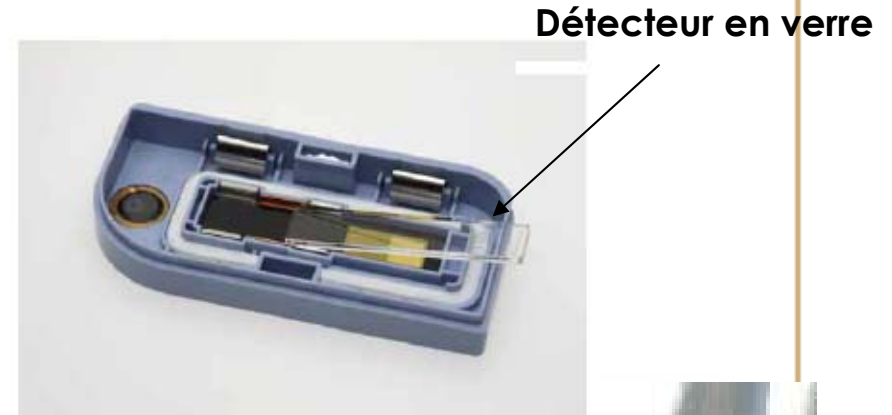


Schéma de principe de la technique RPL



Dosimètre Radio Photo Luminescent

- Dynamique de mesure des doses élevée (LQ=50 μ Sv à qq Sv)
- Très bonne sensibilité aux photons et aux bêta
- 5 plages de lecture en routine, permettant de distinguer les bêta des photons et d'évaluer leurs énergies
- Excellente réponse angulaire,
- Possibilité de relire le dosimètre autant de fois que nécessaire

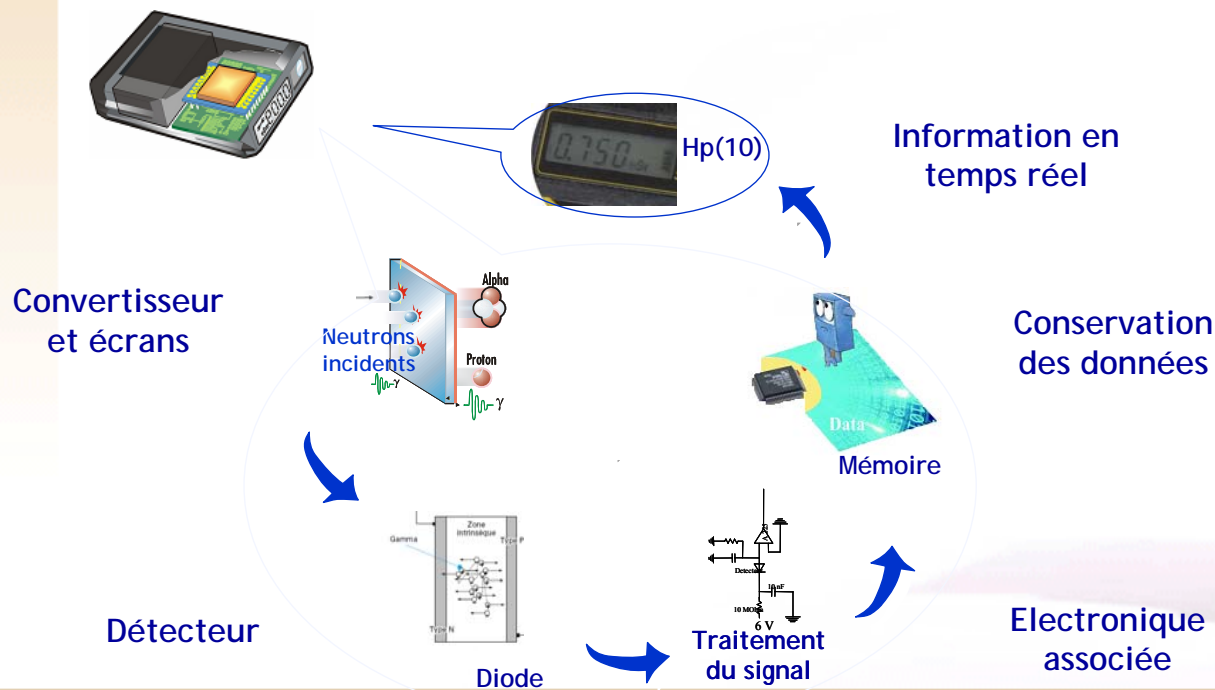


Dosimètre personnel (opérationnel)

Dosimètre électronique




Il enregistre les doses reçues au cours d'une opération, en zone contrôlée, affiche en continu les doses reçues, et est doté d'une alarme visuelle et/ou sonore. (utilisation en complément du dosimètre passif)

Schéma de principe DOP



Les appareils de radioprotection

Mesure de débit de dose - Irradiation

Type de détecteur	Exemple d'appareils	Grandeur mesurée	Gamme de détection	Plage de mesure
Ionisation Débitmètre à chambre d'ionisation γ , X, β		Débit de dose absorbée sous 7 et 300 mg/cm²	10 keV à 10 MeV	1 μGy/h, 1 Gy/h Ou 1μGy à 1 Gy
Ionisation Radiamètre Geiger Müller γ , X		Débit de dose absorbée ou équivalente	30 keV à 1.3 ou 2 MeV	50 nSv/h à 10 mSv/h
Scintillation Radiamètre γ , X		Débit de dose absorbée ou équivalente	15 keV à 7-10 MeV	50 nSv/h à 10 Sv/h

Les appareils de radioprotection

Contrôle de contamination

Type de détecteur	Exemple d'appareils	Grandeur mesurée	Gamme de détection	Mesure et Rdt
Scintillateur NaI (TI) γ, X		Taux de comptage	> 5 keV (fenêtre Be) > 30 keV	c/s 5 - 20%
Scintillateur Plastique ou ZnS α, β		Taux de comptage ou Bq/cm ²	$\beta > 150 \text{ keV}$	c/s 20 - 40%
Compteur GM β Mous		Taux de comptage ou Bq/cm ²	C-14	c/s 6%
Compteur proportionnel α, β, γ		Taux de comptage ou Bq/cm ²	10 keV à 2 MeV	Imp/s Bq, Bq/cm ² 5 à 30%

Les systèmes d'analyse

- Spectrométrie gamma haute résolution GeHp
(Analyse quantitative d'un échantillon solide ou liquide,
Caractérisation de fûts de déchets, contrôle d'installation)



Intervention sur site –contamination de sol

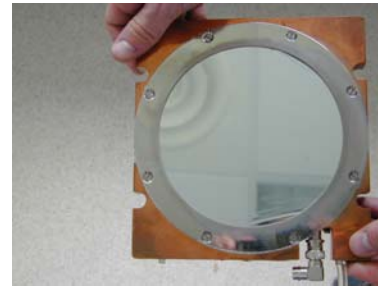


Identification d'un fût de déchets



Géométrie Labo SG500

- **Comptage par compteur proportionnel à bas bruit de fond (comptage de prélèvements d'aérosols, de frottis, de matrice liquide préalablement évaporé sur coupelle)**



- **Système à scintillation liquide**
(quantification d'émetteurs β purs particulièrement de ^3H , ^{32}P , ^{90}Sr)



10. Pour en savoir plus....

Guide de radioprotection « les cahiers de prévention » du CNRS

www.sg.cnrs.fr/cnps/guides/radioprotection.htm - 17k

(Merci à JP MANIN, C. THIEFFRY...)

Personne Compétente en Radioprotection EDP Sciences CEA INSTN

Radionucléide & Radioprotection EDP sciences CEA

Revue de l'ASN « Contrôle » www.asn.fr et www.irsn.fr

Merci de votre attention



denis.oster@ires.in2p3.fr