



La Radioprotection



Dr G. Mekhloufi

 ghozlene.mekhloufi@universite-paris-saclay.fr

Service de physique

1



Introduction



2





De la découverte...

Quelques dates importantes...



Novembre 1895 :
Découverte de rayons
mystérieux appelés
rayons X par Wilhelm
Conrad Röntgen



*La main de Bertha Röntgen
→ première radiographie au
monde*

→ véritable révolution de la
médecine : naissance de la
radiologie dès 1896 et de la
radiothérapie

3

1896 Découverte des
premiers rayonnements
d'origine radioactive dits
« rayons uraniques »
par Henri Becquerel



*La « croix de Malte »
de Becquerel
marquée sur une plaque
photographique*



De la découverte...

Quelques dates importantes...

1898 : Découverte du polonium et du *radium*
par Pierre et Marie Curie



→ Grand engouement jusqu'aux années 40
→ *propriétés biologiques des rayonnements*

Divers domaines : la radiothérapie, la pharmacologie, l'industrie ou encore dans
la vie quotidienne

Ex. La « curiethérapie » : application de radium dans les
traitements des cancers de la peau et de l'utérus

Aiguilles et
tubes radiothérapie



4

Le *radium* → substance naturelle en vente libre et très en
vogue dans les années 1920





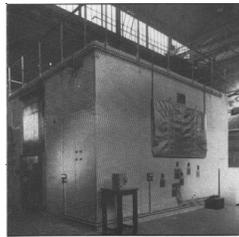
De la découverte...

Quelques dates importantes...

1934 : Découverte de la radioactivité artificielle par Irène Curie et Frédéric Joliot (formation de nouveaux éléments radioactifs par transmutation)



1942 : construction du premier réacteur ou pile (dit réacteur de Chicago) par Enrico Fermi



5



De la découverte...

Quelques dates importantes...

Utilisation militaire de la radioactivité :
Largage de la bombe *Little boy* par le bombardier *Enola Gay*



Le 6 août 1945 sur **Hiroshima**

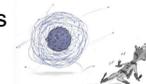


95 000 à 166 000 morts

Le 9 août 1945 sur **Nagasaki**



60 000 à 80 000 morts



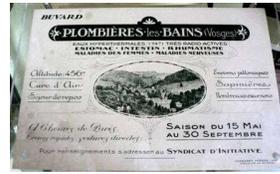
6



De la découverte...



« La santé par le Radium »
Les propriétés miraculeuses du Radium et son emploi pratique pour le traitement des maladies. (1929)



7



De la découverte...



VRIGES ET ULCÈRES VARIQUEUX
RADIOVINOSE
LES HÉMORROÏDES
dissolvant par l'emploi du SUPPORADOL
Savon de Toilette Radioactif Eler
Le SAVON RADIOACTIF ELER présente les mêmes avantages et les mêmes propriétés de la radioactivité que la CREME ELER. De qualité toute à fait supérieure par sa douceur de son odeur et la délicatesse de son parfum, le SAVON RADIOACTIF ELER est absolument hors de pair et l'unique véritable et admissible sur le marché.
Les Produits de Beauté Radioactifs
"ELER"



Évitez et combattez la TUBERCULOSE par la TUBERADINE (Antiseptique pulmonaire radioactif)



8



De la découverte...



"Radium and Beauty,"
New York Tribune
November, 1918,



9



De la découverte...



Chocolat au radium



10

Laine au radium pour bébés et sous-vêtements



De la découverte...

Vaisselle en ouraline populaire entre 1880 et 1920 : verre contenant de l'uranium (entre 0,1 à 2%, voire 25% pour les plus anciennes pièces)



11 Autres objets sur le site Museum of radiation and radioactivity

Plus récemment... pendentif radioactif quantum science vendu sur le web pour ses vertus thérapeutiques



Faible radioactivité d'origine naturelle (thorium et uranium) estimée à 13 mSv par an. Le pendentif émet trois types de rayonnements : alpha, bêta et gamma.

⚡ Apparition d'une tumeur cancéreuse rare chez un patient de 86 ans



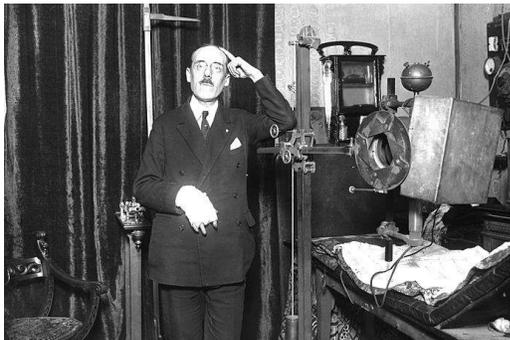
... à la protection

Les dangers possibles...

Les rayons X :

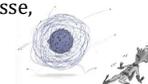
dès 1902 → apparition de cancers et lésions cutanées ; leucémies chez chercheurs, médecins et techniciens.

⚡ Les rayons capables de guérir le cancer (radiothérapie) mais aussi de les provoquer



Dr Maurice Blanche, radiologue victime des rayons amputé d'un doigt. (photographie de presse, 1927)

12





... à la protection

Les dangers possibles...

Le radium :

✓ État très enflammé et douloureux des mains du Pr Curie...



✓ Maladies dues aux rayonnements des ouvrières de l'United States Radium Corporation (New Jersey)

→ anémie, fractures osseuses, nécrose de la mâchoire, tumeurs cancéreuses des os (mâchoire). Premiers décès signalés entre 1922 et 1924.

Procès « Radium girls » en 1927 → indemnisation 10 000 \$ + 600 \$ annuels pour chacune des plaignantes.



13

✓ Apparition de graves affections des os chez les personnes ayant abusé de « potions » au radium



... à la protection

Développement de mesures de protection de la population contre les effets nocifs des rayonnements

Les commissions internationales...

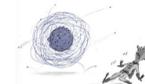
... non gouvernementales

☐ **1925 à Londres :** Commission internationale sur les rayonnements et les mesures (ICRU) : chargée de définir les unités concernant la radioactivité et leurs effets.

☐ **1928 à Stockholm :** Commission internationale de protection radiologique (CIPR) : chargée de définir les règles de radioprotection

➔ *La réglementation dans tous les pays, y compris la France, s'appuie très largement sur leurs recommandations.*

14





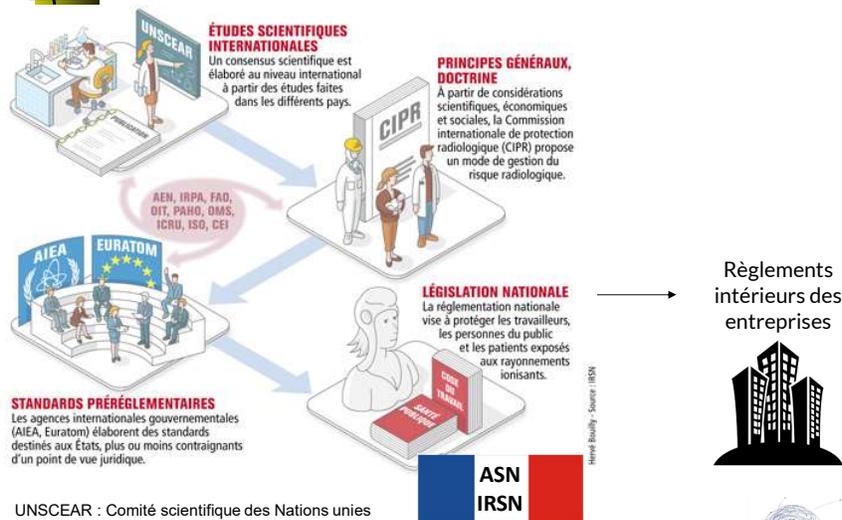
Réglementation



15

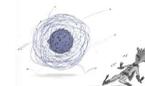


Organisation de la réglementation



UNSCEAR : Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants

16





Principaux organismes nationaux

Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) (créée par la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006) : assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés aux activités nucléaires.

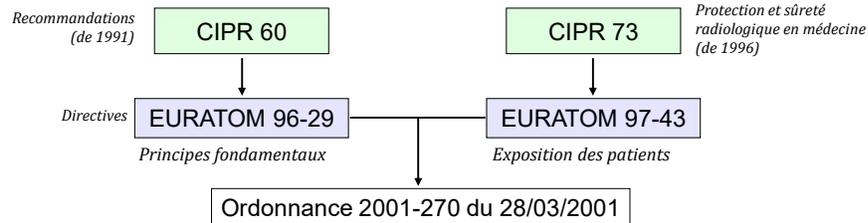


Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) (créé par le décret d'application n° 2002-254 du 22 février 2002) : **expert public** en matière de recherche et d'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques.

17



Exemple évolution réglementation



Décret 2001-1154 : contrôle de qualité et maintenance des dispositifs médicaux émettant des RI
Décret 2002-460 : protection générale des personnes contre les dangers des RI
Décret 2003-296 : protection des travailleurs contre les dangers des RI
Décret 2003-295 : exposition pour les intervenants d'urgence radiologique
Décret 2003-270 : exposition des patients → code de la santé publique

18





Radioprotection professionnelle



19



Définitions

La radioprotection : Ensemble de mesures mises en œuvre pour protéger les travailleurs, la population et les écosystèmes des effets néfastes des rayonnements ionisants tout en permettant de les utiliser.

Les rayonnements ionisants : Tout rayonnement - particules ou photons - dont l'énergie est supérieure à l'énergie de liaison des électrons les moins liés des atomes constituant la matière vivante - C, H, O, N

$$E_{\text{RI}} \geq 13,6 \text{ eV}$$

20





Définitions

La radioprotection : Ensemble de mesures mises en œuvre pour protéger les travailleurs, la population et les écosystèmes des effets néfastes des rayonnements ionisants tout en permettant de les utiliser.

Les rayonnements ionisants : Tout rayonnement - particules ou photons - dont l'énergie est supérieure à l'énergie de liaison des électrons les moins liés des atomes constituant la matière vivante - C, H, O, N

$$E_{RI} \geq 13,6 \text{ eV}$$

Effets nocifs \Rightarrow Interaction RI avec la matière = dépôt d'énergie

Effets immédiats



destruction des tissus

Effets à long terme



cancers



maladies héréditaires

21



Rayonnements ionisants

Origines des RI utilisés

- Sources radioactives :
 - Sources scellées
 - Sources non scellées
- Générateurs de rayons X
- Accélérateurs de particules

} Voir définitions en annexes



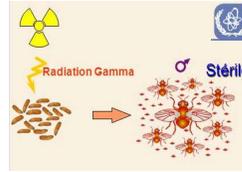
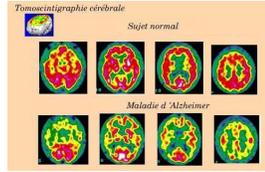
Sources Scellée Cs 137

22



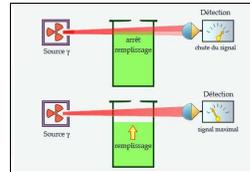
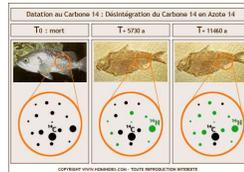
Exemples de domaines d'applications

Médecine



Production alimentaire

Archéologie



Industrie

Energie nucléaire



Militaire

23



Rayonnements ionisants

Rappel (cf. Cours Pr N Huang)

Modes de transformations radioactives

	<i>Rayonnements</i>				
	α	β^-	β^+	γ	X
Nature	Noyaux hélium ${}^4_2\text{He}$	Électron (ou négatons)	Positron (ou positon)	Rayonnements électromagné.	Rayonnements électromagné.
Origine	Désintégration noyaux (lourds)	Désintégration noyaux (excès neutrons)	Désintégration noyaux (excès protons)	Désexcitation du noyau	Désexcitation électronique
Energie	de 4 à 10 MeV	de 10 keV à 3 MeV		> 100 keV	~10 eV à 100 keV

24





Grandeurs et unités

Grandeurs utilisées en radioprotection

Grandeurs	Unités	Définitions
Energie (E)	Électronvolt (eV)	1 eV = 1,602. 10 ⁻¹⁹ joule
Activité (A)	Becquerel (Bq) Ancienne unité : curie (Ci) 1 Ci = 3,7. 10 ¹⁰ Bq 1 Bq = 2,7. 10 ⁻¹¹ Ci	Nombre de désintégrations par seconde

25



Grandeurs et unités

Grandeurs utilisées en radioprotection

Grandeurs	Unités	Définitions
Dose absorbée (D)	Gray (Gy) 1 Gy = 1 J.kg ⁻¹	Quantité d'énergie absorbée par unité de masse de la matière traversée par un rayonnement : $D = \frac{dE}{dm}$
Dose équivalente (H)	Sievert (Sv)	Grandeur qui tient compte de la nocivité des rayonnements sur les tissus vivants exposés (irradiés) : $H = W_R \times D$ W _R : facteur de pondération, tient compte de la nature du rayonnement

26





Grandeurs et unités

Grandeurs utilisées en radioprotection

Grandeurs	Unités	Définitions
Dose efficace (E)	Sievert (Sv)	Somme des doses équivalentes pour chaque organe ou tissu de l'organisme pondérées par un facteur dépendant de la radiosensibilité propre du tissu irradié : $E = \sum W_T \times H$ W_T : facteur de pondération pour le tissu ou l'organe T.
Débit de dose absorbée	Gy.h ⁻¹	Energie reçue par la matière exposée par unité de masse et par unité de temps: $\dot{D} = D/t$
Débit de dose équivalente	Sv.h ⁻¹	$\dot{H} = H/t$

27



Expositions

Les sources d'exposition pour l'homme

1 Diagnostic médical

C'est la première source d'exposition artificielle. Elle dépend du type d'examen (radiographie ou scanner), de la zone du corps à ausculter et du nombre d'actes dans l'année. Pour une même personne, l'exposition médicale est très différente d'une année à l'autre.

1,6
mSv

Gamme de variation : de 0,4 à 15 mSv

2 Gaz radon

Le gaz radon émane surtout des roches granitiques et volcaniques. L'exposition varie en fonction des caractéristiques du sol, de l'habitation (matériaux, fondations, ventilation qui facilitent ou non le transfert du gaz) et des modes de vie (fréquence d'aération).

1,4
mSv

Gamme de variation : de 0,54 à 3,15 mSv

3 Rayonnements du sol

Les rayonnements telluriques dépendent de la nature du sol. Par exemple, la présence de granit, riche en éléments radioactifs, augmente la dose efficace. D'autres facteurs font varier l'exposition : temps passé à l'intérieur des bâtiments et matériaux de construction utilisés.

0,62
mSv

Gamme de variation : de 0,36 à 1,1 mSv

4 Eaux, aliments et tabac

Les aliments et les eaux de boisson contiennent naturellement des éléments radioactifs. Cette source d'exposition est plus importante pour un consommateur fréquent de poissons et de crustacés ainsi que pour les fumeurs.

0,55
mSv

Gamme de variation : de 0,4 à 3,1 mSv

5 Rayonnements cosmiques

Les rayonnements cosmiques sont provoqués par les particules en provenance du Soleil et de la Galaxie qui bombardent la Terre. Les personnes qui voyagent fréquemment en avion et les habitants de région d'altitude sont davantage concernés.

0,32
mSv

Gamme de variation : de 0,3 à 1,28 mSv

6 Installations nucléaires industrielles et militaires

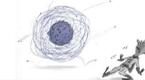
Cette exposition est liée aux retombées des anciens essais d'armes nucléaires et à l'accident de Tchernobyl, notamment dans les Vosges, le Jura, les Alpes du Sud, les Pyrénées et l'est de la Corse. Les centrales et les installations nucléaires ont peu d'impact sur l'exposition de la population (0,01 mSv/an).

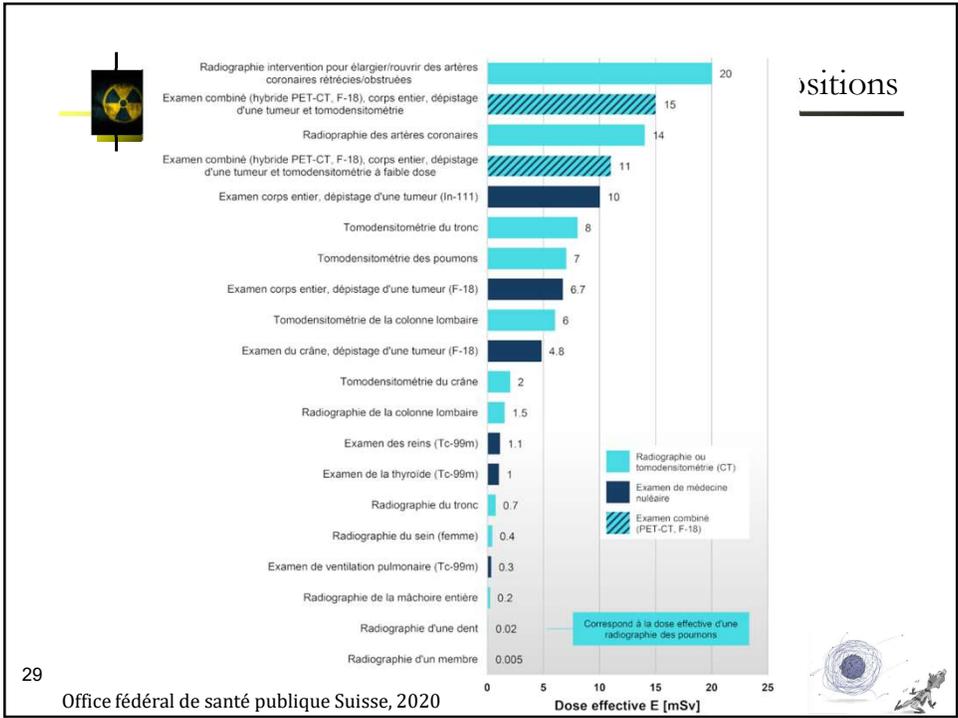
0,02
mSv

Gamme de variation faible

L'exposition à la radioactivité en France, IRSN, 2016

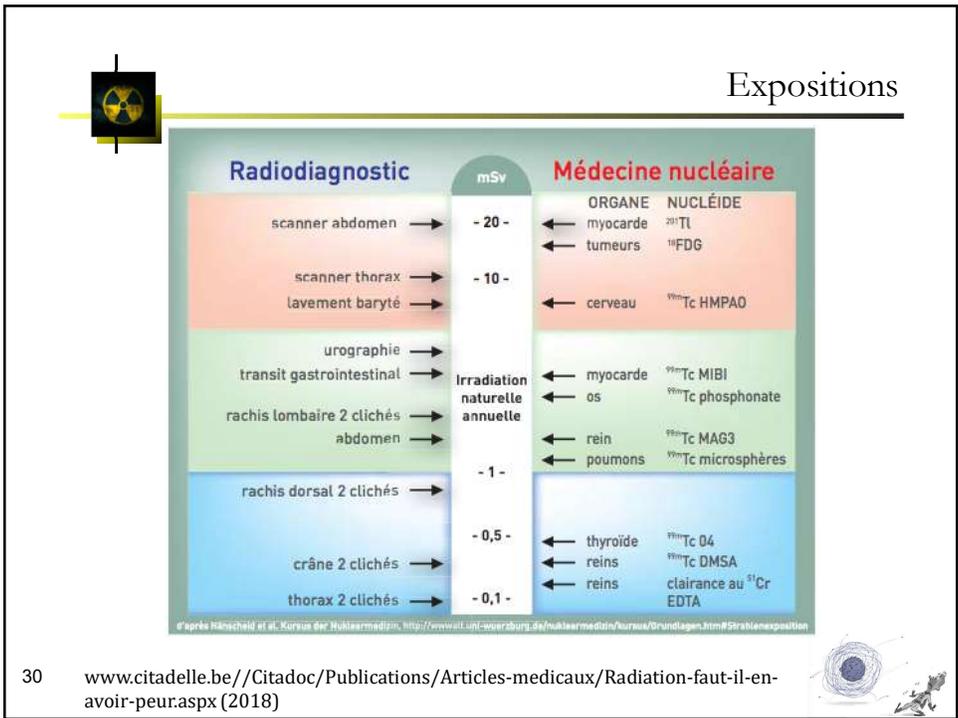
28





29

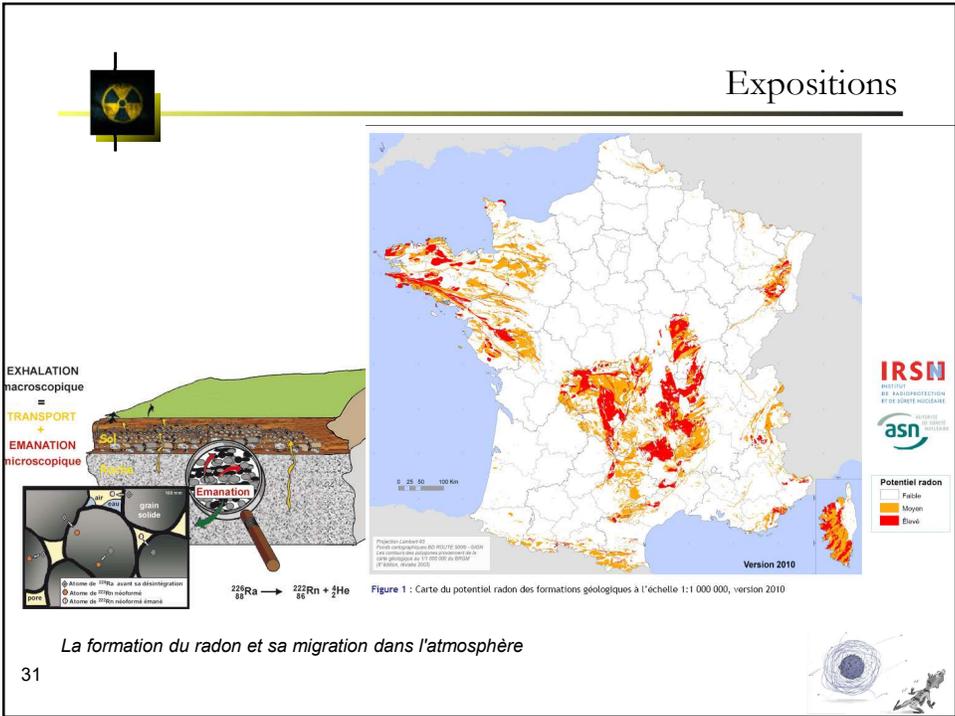
Office fédéral de santé publique Suisse, 2020



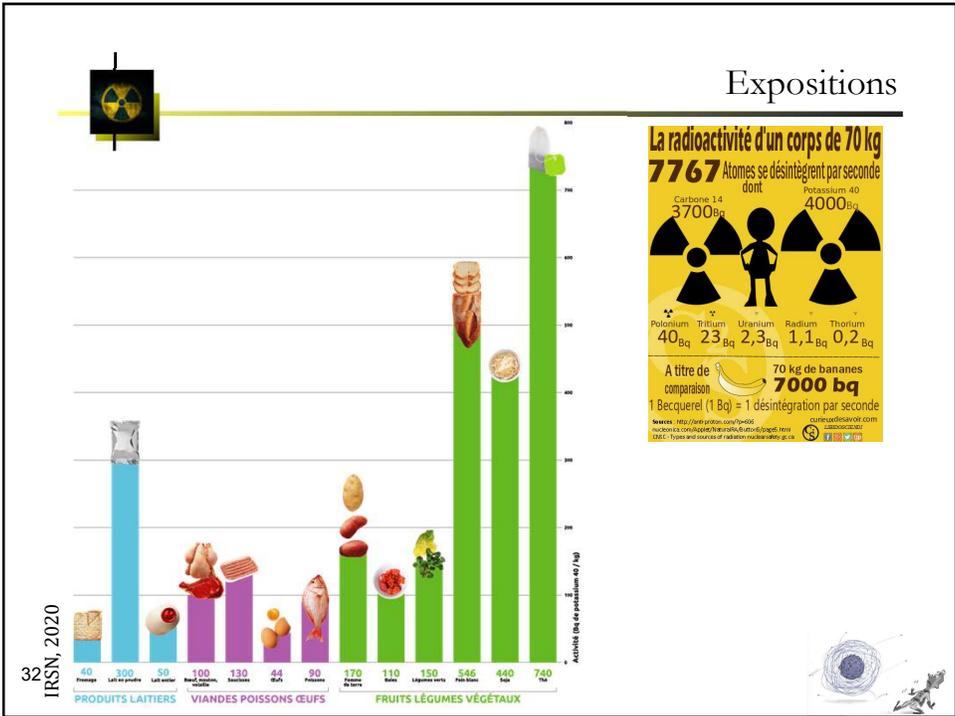
30

www.citadelle.be//Citadoc/Publications/Articles-medicaux/Radiation-faut-il-en-avoir-peur.aspx (2018)

Expositions



Expositions





Expositions

RADIOACTIVITÉ NATURELLE DES ALIMENTS

Aliments	²³⁸ U	²³⁰ Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Po	²³² Th	²²⁸ Ra	²²⁸ Th	²³⁵ U	
Produits laitiers	1	0,5	5	15	15	0,3	5	0,3	0,05	mBq par kg
Viandes	2	2	15	80	60	1	10	1	0,05	
Céréales	20	10	80	50	60	3	60	3	1	
Légumes feuilles	20	20	50	80	100	15	40	15	1	
Légumes racines et fruits	3	0,5	30	30	40	0,5	20	0,5	0,1	
Poissons	30	10	100	200	2000	10	-	100	-	
Eau de consommation	1	0,1	0,5	10	5	0,05	0,5	0,05	0,04	
Incorporation annuelle	5,7	3,0	22	30	58	1,7	15	3,0	0,2	Bq
Dose efficace annuelle (Moyenne)	0,25	0,58	8,0	28	85	0,36	21	0,25	0,01	μSv



Source UNSCEAR 2000.

33

IRSN, 2020

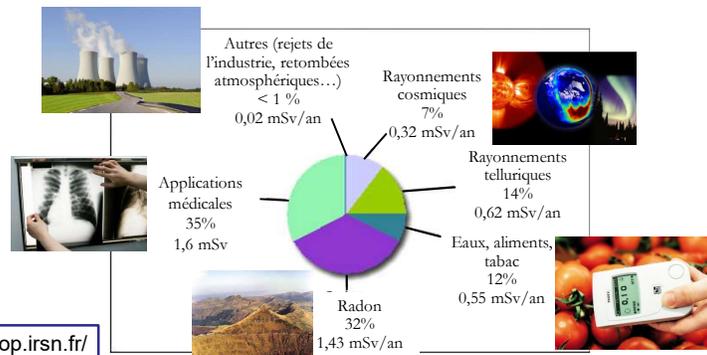


Expositions

Les sources d'exposition pour l'homme

Trois sources principales d'exposition : Naturelle, professionnelle et médicale

Exposition individuelle moyenne en France = 4,5 mSv/an



<https://expop.irsn.fr/>

34

Les sources de rayonnements ionisants en France et l'exposition annuelle de la population (source: IRSN 2016)





Expositions

Les sources d'exposition pour l'homme

https://expop.irsn.fr

Estimez votre exposition aux rayonnements ionisants

Cette estimation ne peut être considérée que comme une valeur indicative fournissant un ordre de grandeur de votre exposition, compte tenu des données qui ont été renseignées. Elle ne couvre pas l'exposition pouvant être reçue lors de votre activité professionnelle.

Remplissez l'intégralité du questionnaire ci-dessous pour estimer votre exposition

Durée approximative : 2 minutes

Commune :

Les caractéristiques de votre commune (altitude, nature des sols) servent pour l'estimation de votre exposition aux rayonnements cosmiques et telluriques et à celle liée au radon

Habitez-vous près d'une centrale nucléaire ?

Disposez-vous de données personnelles concernant la concentration en radon dans votre logement ?

Avez-vous bénéficié d'au moins un examen médical diagnostique (radiologie, scannographie, médecine nucléaire) au cours de l'année écoulée ?

Avez-vous effectué au moins un transport en avion au cours de l'année écoulée ?

Consommez-vous des coquillages, crustacés ou poissons ?

Etes-vous fumeur ?

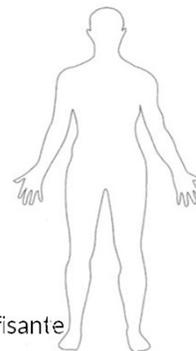
35



Expositions

Les voies d'exposition pour l'homme (cf. Cours Pr F. Coudoré)

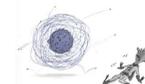
Exposition externe ou irradiation (globale ou partielle) :
 Source de rayonnement à l'extérieur de l'organisme
 (à distance ou au contact de la peau)



↳ Exposition cesse dès que la source de rayonnement est suffisamment éloignée ou derrière un écran d'épaisseur suffisante

Ex. exposition naturelle : *rayonnements cosmiques* (galaxies, soleil) ;
rayonnements telluriques

36





Expositions

Les voies d'exposition pour l'homme (cf. Cours Pr F. Coudoré)

Exposition interne :

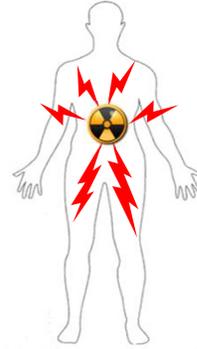
- ✓ Source radioactive à l'intérieur de l'organisme
- ↳ Elle continue tant que le radionucléide n'est pas éliminé

✓ La contamination interne :

- Inhalation • Ingestion
- Voies oculaire (gaz, aérosols...) et percutanée (altération cutanée)

✓ Elle dépend de :

- Activité incorporée
- La nature du polluant
- Temps d'élimination par l'organisme

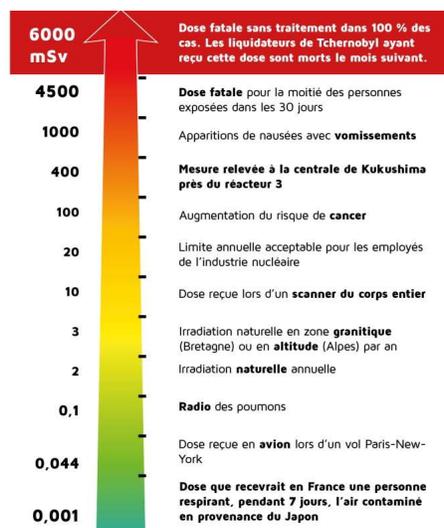


Ex. exposition naturelle : *par inhalation* : radon et ses descendants ; *par ingestion* de tous les aliments

37

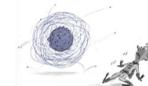


Expositions



38

<https://www.citadelle.be//Citadoc/Publications/Articles-medicaux/Radiation-faut-il-en-avoir-peur.aspx> (2018)





Les principes de la radioprotection

Les trois principes de radioprotection

(introduits par l'ordonnance n°2001-270 du 28/03/2001)

① **La justification des pratiques** : aucune pratique ne peut être adoptée si elle n'apporte pas un avantage suffisant aux individus exposés ou à la société. Les effets bénéfiques totaux d'une activité impliquant une exposition aux rayonnements doivent contrebalancer les effets nocifs possibles du rayonnement qu'elle induit.



NB: pour toute activité impliquant des RI, il faut :

- faire une demande d'autorisation auprès de l'ASN.
- avoir une Personne Compétente en Radioprotection (informer, former...)

39

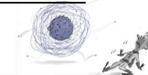


Les principes de la radioprotection

② **L'optimisation de la protection** : s'agissant de toute source d'exposition aux rayonnements, les doses, le nombre de personnes exposées et la probabilité de subir une exposition doivent être maintenus au niveau le plus bas que l'on puisse raisonnablement atteindre, souvent appelé le principe « ALARA » (*as low as reasonably achievable*).

③ **La limitation** (limites de dose individuelle et limites de risque) : la nécessité de s'assurer qu'aucun individu n'est exposé à un niveau de risque inacceptable impose la fixation de limites de doses. Le dépassement d'une limite de dose n'entraîne pas automatiquement un dommage grave. Les limites de dose recommandées sont de loin inférieures au seuil des effets déterministes (cf. Cours Pr F. Coudoré).

40





La limitation

Les doses limites

Personnes exposées aux RI	Travailleurs (Décret n° 2018-437 du 4 juin 2018)	PUBLIC (Décret n° 2018-437 du 4 juin 2018)
Temps d'exposition	Période de douze mois consécutifs	Période de douze mois consécutifs
Doses efficaces Externe + Interne	20 mSv	1 mSv
Dose équivalente à la peau	500 mSv	50 mSv
Dose équivalente pour le cristallin	150 mSv → 20 mSv*	15 mSv
Dose équivalente pour les extrémités	500 mSv	50 mSv

41

* A compter du 1^{er} juillet 2023



La limitation

Classement des travailleurs

Les doses limites annuelles Décret n° 2018-437 du 4 juin 2018

Personnes exposées aux RI	Travailleurs Catégorie A	Travailleurs Catégorie B
Doses efficaces Externe + Interne	20 mSv	6 mSv
Dose équivalente à la peau	500 mSv	150 mSv
Dose équivalente pour le cristallin	20 mSv	Supérieur à 15 mSv
Dose équivalente pour les extrémités	500 mSv	150 mSv
Femmes enceintes	1 mSv (dose équivalente à l'enfant à naître, entre la déclaration de la grossesse et l'accouchement)	

42

Femme allaitant : interdiction de les maintenir ou de les affecter à un poste entraînant un risque d'exposition interne





La limitation

Classement des zones de travail

(Décret n° 2018-437 du 4 juin 2018)

Zones réglementées

Classement	Affichage
<p>Au titre de la dose efficace :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zone surveillée bleue : $E < \text{à } 1,25 \text{ mSv}$ intégrée sur un mois ; - Zone contrôlée verte : $E < \text{à } 4 \text{ mSv}$ intégrée sur un mois ; - Zone contrôlée jaune : $E < \text{à } 2 \text{ mSv}$ intégrée sur une heure ; - Zone contrôlée orange : $E < \text{à } 100 \text{ mSv}$ intégrée sur une heure et inférieure à 100 mSv moyennés sur une seconde ; - Zone contrôlée rouge : $E > \text{à } 100 \text{ mSv}$ intégrée sur une heure ou supérieure à 100 mSv moyennée sur une seconde ; 	<p>ZONE SURVEILLÉE Accès réglementé</p>  <p>ZONE CONTRÔLÉE ACCÈS RÉGLEMENTÉ</p>  <p>ZONE CONTRÔLÉE SPÉCIALEMENT RÉGLEMENTÉE</p>  <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ</p> <p>ZONE CONTRÔLÉE</p>  <p>ACCÈS SPÉCIALEMENT RÉGLEMENTÉ</p> <p>ZONE INTERDITE</p>  <p>ACCÈS SPÉCIALEMENT RÉGLEMENTÉ</p>
<p><u>Zone non réglementée</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Pour l'organisme entier : dose efficace inf. à $0,08 \mu\text{Sv}$ par mois ; - Pour les extrémités ou la peau : dose équivalente inf. à 4 mSv par mois 	

43



Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

Réduction des doses individuelles en optimisant :

- La radioactivité de la source (radioélément le moins dangereux)
- Le temps d'exposition
- La distance par rapport à la source
- Les écrans

44





Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

■ **Limitation du temps d'exposition :**

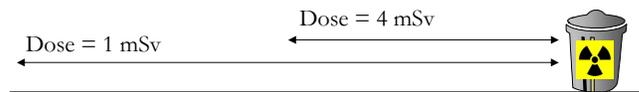
Dose intégrée :

$$D = \overset{\circ}{D} \times \text{temps}$$

■ **Influence de la distance :**

D'après la relation suivante :

$$D \propto 1/(d^2)$$



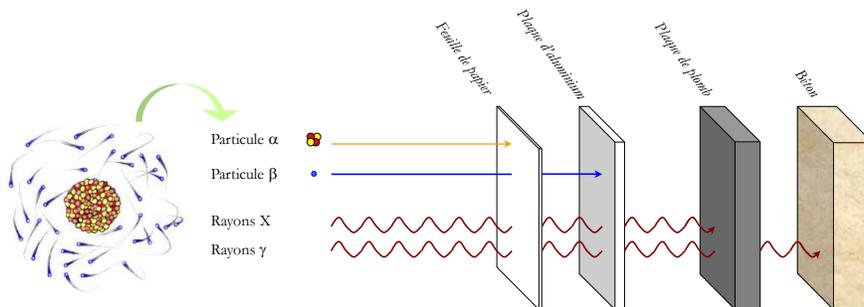
45



Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

■ **Les écrans :** *Interactions des RI avec la matière*



46





Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

■ Les écrans :

Particules α : trajectoire quasi-rectiligne et très courte

Parcours R (en cm) dans l'air et dans les conditions normales de température et de pression :

$$R_{(cm)} = 0,32 \times E^{1,5} \text{ (MeV)}$$

47



Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

■ Les écrans :

Particules β : portée limitée et peu importante

La portée (P) : profondeur maximale de pénétration d'une particule chargée dans la matière traversée :

$$P_{(cm)} = \frac{0,412 \times E^{n} \text{ (MeV)}}{\rho \text{ (g/cm}^3\text{)}} \quad , \text{ avec } n = 1,265 - 0,0954 \ln E$$

48





Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

■ Les écrans :

Particules β : écran de faible densité (plexiglas, aluminium)



Ecran de protection anti-bêta

Poubelle (de paille) de protection anti-bêta pour pointes de pipettes



Boîte de transport

49



Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

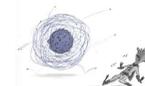
■ Les écrans :

Rayons γ/X : Expression de l'exposition sans écran

$$\dot{D} = \frac{1,38 \cdot 10^{-10} \times A \sum E \times I}{d^2}$$

avec \dot{D} : débit de dose en mGy/h
A : activité en Bq
E : énergie en MeV
I : pourcentage d'émission en (% / 100)
d : distance de la source en mètre

50





Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

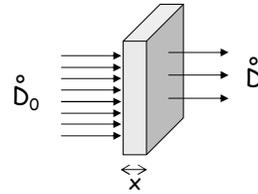
■ Les écrans :

Rayons γ/X :

Expression de l'exposition avec écran

$$\overset{\circ}{D} = \overset{\circ}{D}_0 e^{-\mu x}$$

avec $\overset{\circ}{D}$: débit de dose après l'écran
 $\overset{\circ}{D}_0$: débit de dose avant l'écran
 x : épaisseur d'écran (en cm)
 μ : coefficient d'atténuation linéique (en cm^{-1}). Il dépend du matériau utilisé comme écran.



51



Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

■ Les écrans :

Rayons γ/X :

- Épaisseur moitié $x_{1/2}$: réduit le débit de dose d'un facteur 2

$$x_{1/2} = \ln 2 / \mu$$

- Épaisseur dixième $x_{1/10}$: réduit le débit de dose d'un facteur 10

$$x_{1/10} = \ln 10 / \mu$$

52





Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition externe

■ Les écrans :

Rayons γ/X : écran de forte densité (plomb, béton)

Efficacité proportionnelle à l'épaisseur; fonction de l'énergie du RI



53



Optimisation de la protection

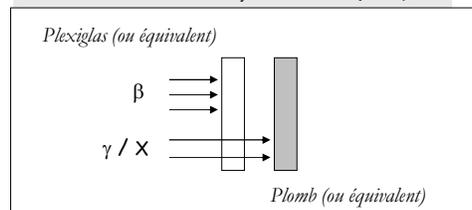
Principes de protection contre l'exposition externe

■ Les écrans :

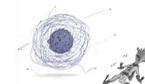
⚠ *Particules β* : éviter les écrans en plomb

→ production de rayons X (de freinage)
très énergétique

Si on doit arrêter des rayonnements β et γ/X



54





Optimisation de la protection

Principes de protection contre l'exposition interne

Les voies de contamination interne :

- Inhalation Ingestion Voies cutanée et oculaire

La prévention consiste essentiellement dans :

- L'élaboration d'un protocole expérimental
- Le choix des zones et des équipements
- Les conditions de travail, environnement calme
- Le respect des bonnes pratiques

55



Optimisation de la protection

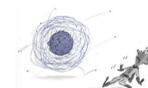
Principes de protection contre l'exposition interne

Les voies de contamination interne :

Règles à respecter :

- Ne pas manipuler les mains nues.
- Ne pas pipeter de liquides par aspiration buccale (rigoureusement interdit).
- Ne pas fumer, boire et manger dans les zones à risque de contamination.
- Ne pas introduire dans ces zones des aliments, boissons, tabac, cosmétiques...
- Ne pas utiliser des objets personnels : mouchoirs, serviettes...
- Prendre des précautions pour éviter les piqûres et les coupures.
- Se laver les mains aussi fréquemment que cela est nécessaire et en particulier à la sortie des zones susceptibles d'être contaminées.
- Se contrôler fréquemment : mains, chaussures, vêtements, cheveux.
- Prévoir des récipients réservés aux résidus radioactifs...

56





Optimisation de la protection

Protection du travailleur : **Protection individuelle**



Masque filtrant

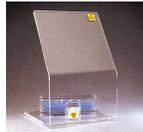
Gants



Lunettes



Blouse ou surtenu



Equipements de confinement

57



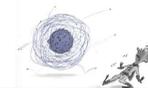
Optimisation de la protection

Protection du travailleur : **Protection individuelle**

Paravent de protection



Cache-seringue et boîte de transport



58

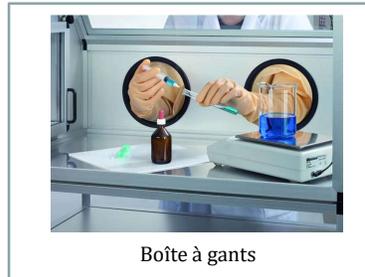


Optimisation de la protection

Protection du travailleur : **Protection individuelle**

Exemples d'équipements de confinement :

- Boîte à gants
- Sorbonne
- Boîtes en plexiglas...



Boîte à gants

59



Optimisation de la protection

Protection du travailleur

Contrôle des personnes : dosimétrie passive

- Lecture après développement (mensuel ou trimestriel)

Poitrine :



Poignée :



Doigts (bagues):



Cristallin (lunettes)



60





Optimisation de la protection

Protection du travailleur

Contrôle des personnes : dosimétrie opérationnelle

- Lecture en temps réel du débit de dose
- Obligatoire pour le personnel travaillant en zone contrôlée



Contrôle des personnes :

Suivi médical (médecin du travail)

61



Optimisation de la protection

Protection du travailleur : Protection collective

- Classification et balisage des locaux
- Aménagement des locaux (sol, murs, plafond, paillasse)
 - ⚠ tout doit être facilement décontaminable
- Ventilation
- Baliser (surface de travail, lieu de stockage source et déchets, matériel...)



ZONE SURVEILLÉE
Accès réglementé



ZONE CONTRÔLÉE



ACCÈS RÉGLEMENTÉ



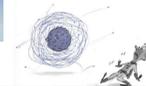
stockage



déchets



62





Optimisation de la protection

Protection du travailleur : **Protection collective**

- Consignes de sécurité
- Protéger la zone de manipulation (plateau, papier absorbant)



- Détection des contaminations (atmosphérique, surfacique)
- Prévoir le matériel de décontamination

63



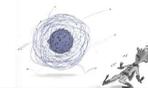
Optimisation de la protection

Détection des rayonnements ionisants

Quel appareil pour quel type de mesure ?

- ▣ Mesurer l'exposition externe
- ▣ Détecter la contamination surfacique

64





Optimisation de la protection

Exemples d'appareils de mesure de RI

Exposition externe :

- La babyline : mesure du débit de dose absorbée (mGy/h) pour des rayonnements β , γ , X



65



Optimisation de la protection

Exemples d'appareils de mesure de RI

Exposition externe :

- Le radiamètre : mesure du débit de dose équivalente ($\mu\text{Sv/h}$) pour des rayonnements γ , X

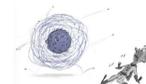


Radiamètre AD5



Radiagem

66





Optimisation de la protection

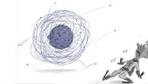
Exemples d'appareils de mesure de RI

Détection contamination :

- MIP et sondes associées : mesure de contamination α , β , γ et X
Affichage: $c.s^{-1}$



67

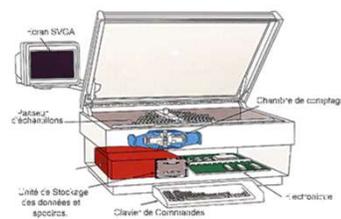


Optimisation de la protection

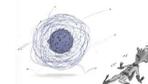
Exemples d'appareils de mesure de RI

Détection contamination :

- Compteur à scintillation : mesure de contamination pour radioéléments très peu énergétiques (étude de frottis): ex 3H , ^{14}C ,...



68





69



Gestion des déchets radioactifs



Gestion des déchets radioactifs

- Chaque établissement est responsable des effluents et déchets qu'il génère.
- Circulaire DGS/SD 7 D/DHOS/E 4 n°2001-323 du 9 juillet 2001 (gestion des effluents et des déchets d'activités de soins contaminés par des radionucléides).
- Registre de suivi des déchets radioactifs

Modalités de gestions des déchets

- Les déchets doivent être triés et conditionnés selon :
- La période
 - Le type d'émission radioactive
 - Leur forme physico-chimique
 - Leur risque associé.

70





Gestion des déchets radioactifs

Modalités de gestions des déchets

☐ Deux modes de traitements :

- gestion par décroissance (périodes < 100 jours)
- prise en charge par l'ANDRA (périodes > 100 jours)

ANDRA : agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

☐ L'activité contrôlée avant évacuation

☐ Déchets en fin de décroissance évacués vers les filières identifiées : - Filière des déchets ménagers

- Filière risques infectieux ou risque chimique

☐ Déchets à longue période évacués vers l'ANDRA

- Indication du risque chimique
- Suppression des risques infectieux
- Déchets putrescibles → filière particulière mise en place par l'ANDRA

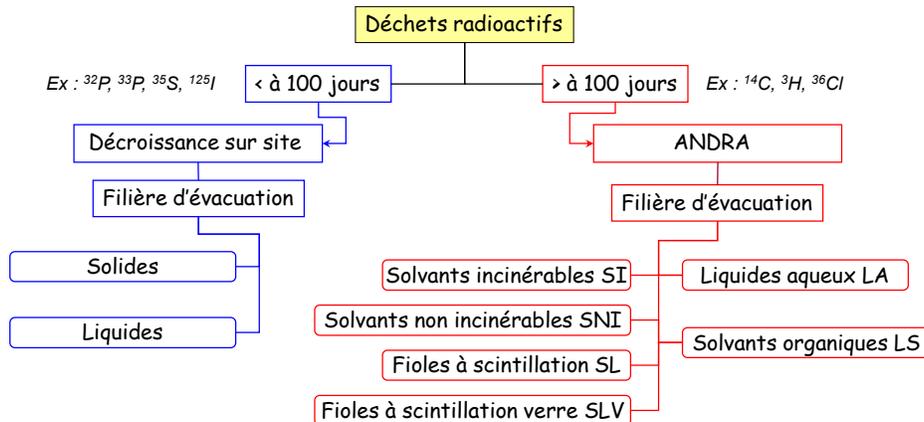


71

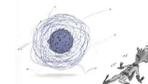


Gestion des déchets radioactifs

Organigramme de gestion des déchets



72





Gestion des déchets radioactifs

Modalités de gestions des déchets (source ANDRA)

	Vie très courte (période < 100 Jours)	Vie courte (période ≤ 31 ans)	Vie longue (période > 31 ans)
Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production <i>Puis évacuation dans les filières conventionnelles</i>	Stockage de surface <i>(Centre de stockage des déchets de très faible activité de l'Aube)</i>	
Faible activité (FA)		Stockage de surface <i>(Centre de stockage des déchets de faible et moyenne activité de l'Aube)</i>	Stockage à faible profondeur *
Moyenne activité (MA)			
Haute activité (HA)		Stockage réversible profond *	

* À l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006

73



Gestion des déchets radioactifs

Modalités de gestions des déchets TFA (source ANDRA) : Leur niveau de radioactivité est généralement compris entre 1 et 100 becquerels par gramme, avec une moyenne d'une dizaine de becquerels par gramme, soit un niveau proche de la radioactivité naturelle.



74

Stockage des colis de déchets TFA en alvéole

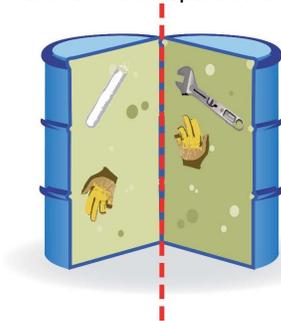




Gestion des déchets radioactifs

Modalités de gestions des déchets FA et MA à vie courte (source ANDRA) :

Les déchets FMA-VC sont majoritairement des petits équipements contaminés lors de la maintenance (gants, vêtements, outils...) et l'exploitation d'installations nucléaires françaises (traitement d'effluents liquides ou gazeux). Ils proviennent également de laboratoires de recherche, d'hôpitaux, d'universités... ou d'opérations d'assainissement et de démantèlement.



Déchets radioactifs (15 à 20%) traités (compactés, solidifiés...) et conditionnés, dans un conteneur en métal ou en béton (matériau d'enrobage 80 à 85%). Colis stockés, en surface, dans des ouvrages en béton armé de 25 m de côté et 8 m de hauteur

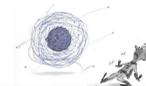
75



Annexes



76





Définitions

- **Source scellée** : Source constituée par des substances radioactives solidement incorporées dans des matières solides inertes ou contenue dans une enveloppe inactive, présentant une résistance suffisante pour éviter toute dispersion de substances radioactives dans des conditions normales d'utilisation.

- **Source non scellée** : source radioactive dont la présentation et les conditions normales d'emploi ne permettent pas de prévenir toute dispersion de substances radioactives.

77



Exemples d'applications

- **Source scellée** :
 - *Gammagraphies* (pour apprécier des défauts d'homogénéité dans le métal)
 - *Irradiation industrielle* (de la désinsectisation à la stérilisation industrielle)
 - *Détecteurs de fumée* (retrait définitif en France en 2017)
 - *Détecteurs de plomb*
 - *Jauges de niveau* (mesure du niveau de substance dans un récipient)
 - *Jauges d'épaisseur* (mesures d'épaisseur, de densité et d'homogénéité)
 - *Compteur à scintillation* (mesure de l'activité par l'étude de frottis ou de liquides)
 - *Chromatographie* (détection et dosage de différents éléments)
 - *Irradiation en recherche* (radiobiologie, radiochimie) ...

- **Source non scellée** :
Radioéléments utilisés comme traceur, marqueur, dans un but de radiodiagnostic ou thérapeutique.

78





Quelques références

Guide pratique radionucléides et radioprotection
de Daniel Delacroix, Jean-Paul Guerre et Paul Leblanc
Edition : EDP Sciences (2006)

Histoire de la radioactivité. L'évolution d'un concept et ses applications.
de René Bimbot
Edition : Vuibert/Adapt (2006)

www.cea.fr (voir dossiers)

www.inrs.fr (voir dossiers)

http://www.inrs.fr/htm/prevention_risques_lies_exposition_professionnelle.html

www.asn.fr (voir dossiers)

www.andra.fr

