



RISQUES LIÉS À LA RADIOACTIVITÉ

Principes • Risques • Bonnes pratiques • Réglementation

1. Introduction : La radioactivité dans notre environnement

La radioactivité est un phénomène naturel et omniprésent. Nous sommes en permanence exposés à des rayonnements ionisants d'origine naturelle ou artificielle. Cette exposition fait partie de notre quotidien, mais nécessite une connaissance précise de ses risques pour être correctement maîtrisée.

Les sources d'exposition se répartissent en deux grandes catégories :

- **Sources naturelles** : radon (gaz radioactif issu du sol), rayons cosmiques (rayonnements de haute énergie provenant de l'espace), radioéléments naturellement présents dans les aliments et l'organisme (potassium-40, carbone-14).
- **Sources artificielles** : radiographies médicales, scanners, médecine nucléaire (scintigraphies), voyages en avion (altitude élevée), installations nucléaires industrielles.

Les radionucléides se caractérisent par l'instabilité de leur noyau atomique, qui se manifeste par l'émission spontanée de particules ou de photons énergétiques — les radiations ionisantes. Ces rayonnements sont invisibles, inodores et non perceptibles par les sens humains ; leur détection nécessite des appareils spécialisés.

i Rappel clé : parmi les 1 525 atomes répertoriés, 274 seulement sont stables. Les 1 251 restants sont instables (radioactifs) et se désintègrent en émettant des rayonnements.

2. Définition et classification des rayonnements

Les rayonnements sont classés selon leur capacité à ioniser la matière, c'est-à-dire à arracher des électrons aux atomes qu'ils traversent.

Type de rayonnement	Capacité d'ionisation	Exemples
Rayonnements ionisants	Énergie suffisante pour arracher un électron aux atomes (création d'ions)	α , β , γ , X, neutrons
Rayonnements non ionisants	Énergie insuffisante pour ioniser la matière	Lumière visible, infrarouge, ultrasons, radiofréquences

3. Les différents types de rayonnements

3.1 Tableau des particules et photons

Chaque type de rayonnement possède des propriétés physiques spécifiques qui déterminent ses effets biologiques et les protections nécessaires :

Type	Nature	Charge	Masse	Ionisation	Pénétration
Particule α	Noyau He	+2	Élevée	Très forte	Très faible — feuille de papier
Particule β^-	Électron	-1	Faible	Moyenne	Moyenne — aluminium, plastique
Particule β^+	Positron	+1	Faible	Moyenne	Moyenne — aluminium, plastique
Rayon γ	Onde électromagnétique	0	Nulle	Faible	Très élevée — plomb, béton épais
Rayon X	Onde électromagnétique	0	Nulle	Faible	Élevée — plomb

Type	Nature	Charge	Masse	Ionisation	Pénétration
Neutron	Particule neutre	0	Élevée	Variable	Très élevée — eau, béton hydrogéné

3.2 Pouvoir de pénétration et matériaux d'arrêt

Le pouvoir de pénétration d'un rayonnement détermine les matériaux à utiliser pour s'en protéger. La règle générale : plus le rayonnement ionise fortement, moins il est pénétrant.

Rayonnement	Parcours dans l'air	Matériau d'arrêt
α	Quelques centimètres	Une feuille de papier suffit
β	Quelques mètres	Plaque d'aluminium ou plastique
γ , X	Très long (centaines de mètres)	Plomb, béton épais
Neutrons	Très long	Eau, béton, matériaux hydrogénés

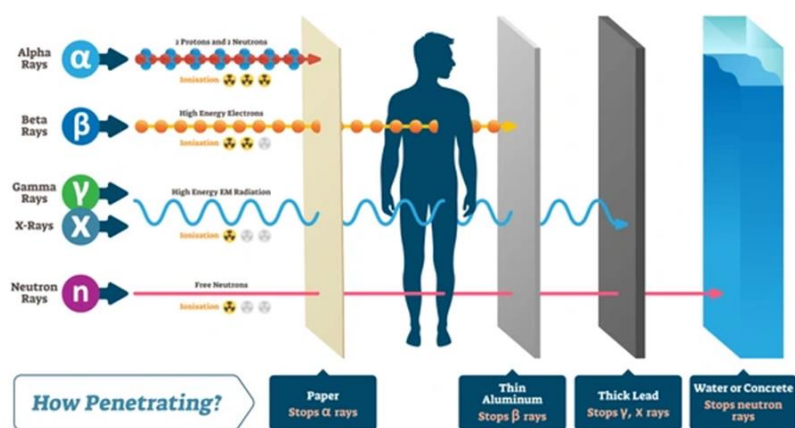


Figure 1 — Pouvoir de pénétration comparé des rayonnements α , β et γ

⚠ La particule α , bien qu'arrêtée par une simple feuille de papier, devient extrêmement dangereuse en cas de contamination interne (inhalation, ingestion).

4. Effets biologiques des rayonnements

L'ionisation provoquée par les rayonnements agit sur les cellules selon deux mécanismes principaux :

- Effet direct : rupture des liaisons moléculaires à l'intérieur même des cellules, notamment au niveau de l'ADN.
- Effet indirect : production de radicaux libres (en particulier le radical hydroxyle $\text{OH}\cdot$) lors de la radiolyse de l'eau cellulaire, qui interagissent chimiquement avec les macromolécules biologiques.

Ces interactions cellulaires peuvent entraîner deux catégories d'effets selon la dose reçue :

Effets déterministes	Effets stochastiques
cause: destruction massive des cellules	cause: lésions non réparées de l'ADN
obligatoires (ils apparaissent toujours)	aléatoires
pathologies diverses	cancers et effets génétiques
dose seuil d'apparition: 0,2 - 0,3 Gy	pas de dose seuil d'apparition
manifestation précoce	manifestation tardive
gravité dépendante de la dose	gravité indépendante de la dose
clairement décrits	non spécifiques

Figure 2 — Effets déterministes vs effets stochastiques des rayonnements ionisants

4.1 Effets déterministes

Les effets déterministes apparaissent systématiquement au-delà d'un seuil de dose et leur gravité croît proportionnellement à la dose reçue. Ils surviennent généralement dans les heures ou semaines suivant une forte exposition.

Effet clinique	Dose approximative (Gy)
Érythème (rougeur cutanée)	2 – 5 Gy
Nausées et vomissements	1 – 4 Gy
Perte de cheveux (épilation)	3 – 5 Gy
Syndrome aigu des rayonnements	> 1 Gy
Seuil léthal (sans traitement)	7 – 10 Gy

i Le seuil léthal sans traitement médical est évalué entre 7 et 10 Gy pour une irradiation corps entier. Avec des soins intensifs (greffe de moelle), ce seuil peut être repoussé.

4.2 Effets stochastiques (aléatoires)

Les effets stochastiques sont aléatoires, sans seuil de dose connu. Ils peuvent survenir des mois, des années voire des décennies après l'exposition. Leur probabilité d'occurrence augmente avec la dose, mais pas leur gravité.

Type de mutation	Conséquence
Cellules somatiques (non reproductives)	Cancers chez la personne exposée
Cellules germinales (reproductives)	Effets héréditaires : malformations, maladies génétiques chez la descendance

4.3 Facteurs modulant le risque radiologique

- La nature de l'isotope et le type de rayonnement émis (facteur de pondération radiologique).
- La quantité de substance radioactive manipulée et la durée de manipulation.
- La distance par rapport à la source (la dose décroît avec le carré de la distance).
- La radiosensibilité des tissus exposés (moelle osseuse, gonades, cristallin : très radiosensibles).
- L'âge de la personne exposée (enfants et femmes enceintes sont plus vulnérables).

5. Exposition et contamination

5.1 Irradiation (source externe)

L'irradiation correspond à une exposition à une source radioactive extérieure à l'organisme, limitée dans le temps. Elle cesse dès que la source est éloignée, retirée ou que l'opérateur quitte la zone. L'irradiation ne rend pas la personne elle-même radioactive.

Certains radionucléides comme l'iode 125 présentent des risques d'irradiation significatifs et nécessitent le recours à des écrans de protection lors de leur manipulation.

5.2 Contamination (source non scellée)

La contamination désigne la fixation ou l'incorporation de substances radioactives sur l'organisme ou à l'intérieur de celui-ci. Contrairement à l'irradiation, la contamination persiste dans le temps et peut représenter un risque prolongé.

Type	Description
Contamination externe	Dépôt de substances radioactives sur la peau, les cheveux, les vêtements
Contamination interne	Incorporation de radionucléides dans l'organisme par inhalation, ingestion, blessure ou absorption transcutanée

Voies de pénétration pour la contamination interne

- Voie respiratoire (inhalation) — la plus fréquente en laboratoire.
- Voie digestive (ingestion) — par contact main-bouche ou contamination d'aliments.
- Voie directe (blessure, coupure, piqûre) — pénétration directe dans le flux sanguin.
- Voie transcutanée (absorption par peau lésée ou érosion cutanée).

⚠ **Attention aux contaminations indirectes : le transfert de contamination par contact avec du matériel contaminé (pailleuse, équipements, poignées de portes) est une voie d'exposition fréquemment sous-estimée.**

6. Principes fondamentaux de radioprotection

La radioprotection repose sur le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable) : maintenir l'exposition aux rayonnements aussi basse que raisonnablement possible, compte tenu des contraintes économiques et sociales.



Figure 3 — Les trois piliers de la radioprotection : Distance, Temps, Écran

6.1 Les trois piliers fondamentaux

Principe	Application pratique
Distance	Éloigner au maximum les personnes de la source. L'intensité diminue avec le carré de la distance (loi en $1/r^2$).
Temps	Réduire autant que possible la durée d'exposition. Préparer les gestes à l'avance hors zone.
Écran	Placer des écrans de protection adaptés au type de rayonnement (papier, aluminium, plomb, béton).

6.2 Ventilation et décroissance radioactive

- Ventiler les lieux où flottent des gaz radioactifs pour diluer leur concentration (ex. : radon dans les mines, tritium gazeux en laboratoire).
- Attendre si possible que la radioactivité décroisse naturellement pour les isotopes à courte période (ex. : ^{11}C — période 20 min, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ — période 6 h).

6.3 Mesures organisationnelles et collectives

- Utiliser la quantité minimale de substance radioactive requise pour chaque manipulation.
- Travailler sur les postes spécialement aménagés et prévus à cet effet (protections collectives).
- Porter les équipements de protection individuelle (EPI) adaptés au risque.
- Respecter scrupuleusement les affichages, consignes et procédures en vigueur.
- Participer aux formations internes régulières et aux exercices de sécurité.
- Signaler immédiatement toute anomalie ou incident à la PCR (Personne Compétente en Radioprotection).

7. Bonnes pratiques de manipulation

7.1 Avant la manipulation

- Préparer le plan de travail : poser un papier absorbant imperméable, disposer les écrans nécessaires, préparer les conteneurs à déchets étiquetés.
- Vérifier à l'aide d'un compteur de contamination l'absence de contamination résiduelle sur la zone de travail.
- S'assurer d'être à jour dans son suivi médical (visite médicale périodique obligatoire).
- Préparer et répéter mentalement les gestes à effectuer pour minimiser la durée d'exposition.

7.2 Pendant la manipulation

- Maintenir le compteur de contamination allumé et à portée de main.
- Travailler exclusivement sur des surfaces absorbantes protégées.
- Manipuler avec des gants adaptés au type de rayonnement et de substance.
- Éviter toute dispersion (mouvements lents, récipients stables, capot fermé autant que possible).
- Ne jamais pipeter à la bouche. Utiliser systématiquement des dispositifs mécaniques.
- Minimiser le temps passé à proximité de la source.

7.3 Après la manipulation

- Vérifier l'absence de contamination surfacique (paillasse, matériel, équipements).
- Vérifier l'absence de contamination corporelle (gants, blouse, chaussures, mains, visage).
- Nettoyer et dégager le poste de travail, remettre en ordre la zone.
- Trier les déchets dans les conteneurs appropriés selon le type de radioélément et la voie d'élimination.
- Consigner les manipulations dans les registres réglementaires (quantités, déchets générés).

⚠ Toute contamination suspectée (corporelle ou surfacique) doit être immédiatement signalée à la Personne Compétente en Radioprotection (PCR) de l'établissement.

8. Conduite à tenir en cas de contamination

8.1 Contamination de la surface de travail

En cas de renversement ou de contamination de surface, la décontamination doit être méthodique et réalisée en minimisant le risque d'extension :

Étape	Action
1	Localiser et baliser la zone contaminée
2	Pour un liquide : récupérer le maximum par pipetage
3	Absorber le reste avec du papier absorbant
4	Nettoyer avec un produit décontaminant, de la périphérie vers le centre (évite l'étalement)
5	Vérifier l'efficacité de la décontamination à l'aide d'un appareil de détection

i Le sens de nettoyage est crucial : toujours aller de la périphérie vers le centre de la zone contaminée pour éviter d'étendre la contamination.

8.2 Contamination externe du manipulateur

Localisation	Conduite à tenir
Peau	Laver à l'eau tiède avec un savon doux. Ne pas brosser ni utiliser de produits agressifs pour ne pas fragiliser la peau (risque de transformer une contamination externe en interne).
Yeux	Rincer abondamment à la douche oculaire ou sous le robinet.
Zones délicates (oreilles, narines)	Consulter un médecin si contamination résiduelle après rinçage.

⚠ Ne jamais utiliser de brosses dures, d'eau chaude ou de produits chimiques agressifs sur la peau contaminée — cela augmente la perméabilité cutanée et favorise le passage à la contamination interne.

8.3 Contamination interne

Voie d'entrée	Conduite à tenir
Inhalation	Faire tousser, se moucher. Conserver les expectorations pour examen par la médecine du travail.
Ingestion	Rincer la bouche. Ne pas faire vomir sans avis médical. Consulter immédiatement un médecin.

i Dans tous les cas de contamination (interne ou externe résiduelle), la PCR et/ou la médecine du travail doivent être immédiatement alertées pour décider des mesures complémentaires (dosimétrie, anthropogammamétrie, analyses biologiques).

9. Équipements de protection individuelle (EPI)

Le choix des EPI est adapté au niveau de risque radiologique et au type de manipulation envisagée. Les EPI constituent la dernière barrière de protection individuelle et ne doivent jamais remplacer les protections collectives.

Situation / Risque	EPI recommandé
Sources non scellées — manipulation courante	Blouse, gants adaptés, lunettes, surchaussures
Risque de contamination aérienne	Masque FFP2 ou FFP3, combinaison étanche
Risque de projection	Lunettes étanches, écran facial
Manipulation sous PSM (Poste de Sécurité Microbiologique)	Blouse, gants, masque selon radionucléide

Les gants doivent être choisis en fonction de leur résistance chimique et de leur épaisseur. Pour les travaux en zone à risque alpha, des gants de 0,5 à 1 mm suffisent pour arrêter les particules α , mais l'étanchéité chimique reste primordiale.

10. Traçabilité et registres obligatoires

La manipulation de radioéléments est soumise à autorisation administrative, renouvelable tous les 4 ans auprès de l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) en France. Elle impose une traçabilité totale et rigoureuse de toutes les opérations.

10.1 Registres réglementaires obligatoires

Registre	Objet / Contenu
Registre des contrôles	Contrôles effectués par équipe et par zone surveillée
Entrées/sorties des radioéléments	Mouvements des sources, tenu par la PCR (Personne Compétente en Radioprotection)
Registre des manipulations	Quantités manipulées, conservées, éliminées + conteneur utilisé
Registre des déchets	Suivi, conditionnement et élimination des déchets radioactifs
Utilisation des compteurs	Traçabilité des appareils de mesure et de détection
Fiche individuelle d'exposition	Tenue par la médecine du travail — calcul des doses reçues et suivi médical

10.2 Fiche individuelle d'exposition

La fiche individuelle d'exposition est tenue par la médecine du travail. Elle permet le calcul des doses d'exposition reçues (dosimétrie passive et active) et assure le suivi médical à long terme des travailleurs exposés. Elle est conservée pendant 50 ans après la fin de l'exposition.

i Le port du dosimètre individuel (dosimètre passif et/ou opérationnel) est obligatoire pour tout travailleur classé en catégorie A ou B au sens de la réglementation.

11. Glossaire des termes essentiels

Terme	Définition
Radionucléide	Atome dont le noyau est instable et émet spontanément un rayonnement ionisant lors de sa désintégration
Rayonnement ionisant	Rayonnement portant assez d'énergie pour ioniser la matière, c'est-à-dire arracher un électron à un atome
Irradiation	Exposition à une source radioactive externe, sans incorporation de substances radioactives dans l'organisme. Cesse dès l'éloignement de la source
Contamination	Dépôt ou incorporation de substances radioactives sur ou dans l'organisme (contamination externe ou interne)
Effet déterministe	Effet lié à une dose élevée, avec seuil de dose connu ; la gravité augmente avec la dose
Effet stochastique	Effet aléatoire (cancer, mutation génétique), sans seuil connu ; la probabilité d'occurrence augmente avec la dose
Gray (Gy)	Unité de dose absorbée. 1 Gy = 1 joule d'énergie absorbée par kilogramme de tissu
Sievert (Sv)	Unité de dose efficace (dose absorbée pondérée selon le type de rayonnement et l'organe irradié)
PCR	Personne Compétente en Radioprotection — désignée par l'employeur pour superviser la radioprotection dans l'établissement
ALARA	As Low As Reasonably Achievable — maintenir l'exposition aussi basse que raisonnablement possible
Activité (Becquerel)	1 Bq = 1 désintégration nucléaire par seconde