

ACCIDENT NUCLEAIRE

Comprendre pour essayer de limiter les risques

L'accident nucléaire majeur a d'abord été présenté comme impossible, puis hautement improbable. Tchernobyl, puis Fukushima ont conduit les Etats à préparer des plans d'urgence. Pour la population, ils se résument souvent à suivre les consignes qui seront données. Comprendre les mécanismes d'exposition et la portée des mesures de protection collectives peut cependant permettre d'agir au mieux au niveau individuel.

DES PRODUITS RADIOACTIFS

Des centaines de milliards de milliards de fissions se produisent chaque seconde dans le cœur d'un réacteur nucléaire, générant une quantité prodigieuse de radioactivité qu'il faut impérativement confiner. Toute fuite est potentiellement catastrophique.

Les atomes radioactifs sont instables : leur noyau finit par se désintégrer en émettant des radiations très ionisantes, dénommées alpha (α), bêta (β) et gamma (γ), capables de léser les cellules.

La période radioactive d'un radionucléide est le temps nécessaire pour que son activité diminue de moitié : division par 2 après 1 période ; par 4 après 2 périodes ; par 8 après 3 périodes ; par 16 après 4 périodes ; etc.

On appelle produits de fission les fragments issus de la cassure des noyaux fissiles (uranium²³⁵, plutonium²³⁹) mais aussi leurs nombreux descendants radioactifs : Sr⁹⁰, I¹³¹, Xe¹³³, Cs¹³⁷ ...

Le flux de neutrons intense qui règne au sein du réacteur va aussi :

Radionucléides et radiations	Période $t_{1/2}$
Césium (Cs) 134	$\beta^- + \gamma$ 2,1 ans
Césium 137	$\beta^- + \gamma$ 30,2 ans
Iode (I) 131	$\beta^- + \gamma$ 8 jours
Iode 133	$\beta^- + \gamma$ 20,8 h
Strontium (Sr) 90	β^- 28,8 ans
Xénon (Xe) 133	$\beta^- + \gamma$ 5,2 jours
Plutonium (Pu) 239	α 24 110 ans
Plutonium 241	β^- 14,4 ans
Américium (Am) 241	$\alpha + \gamma$ 432 ans

- rendre radioactifs des atomes stables : ce sont les produits d'activation (Cs¹³⁴) ;
- créer des éléments plus lourds que l'uranium (plutonium, neptunium, américium ...) : ce sont les transuraniens.

DES MESURES DE PROTECTION

Pour limiter les expositions, les autorités peuvent décider :

- l'évacuation (mesure temporaire),
- la mise à l'abri dans des structures en dur,
- l'administration d'iode stable,
- le retrait des aliments contaminés,
- le relogement (plusieurs mois, années ou définitif).

La mise en œuvre n'est pas automatique. Tenant compte des coûts et des risques induits par l'intervention, la réglementation tolère un niveau de risque radiologique élevé : alors que la limite de dose est normalement de 1 mSv/an, pendant l'accident, elle peut atteindre 100 mSv ; après l'accident, 20 mSv/an. Et il ne s'agit plus de limites mais de simples références qui peuvent être dépassées. Malgré les protestations, le gouvernement japonais a retenu 20 mSv/an pour la gestion de l'après-Fukushima.

Le montant prévu pour l'indemnisation des victimes s'élève (au mieux) à 1,5 milliard d'euros (G€) alors que les dommages se chiffrent en centaines de G€, voire plus. Contraindre les habitants à vivre en zone contaminée permet de réduire les coûts (retour d'expérience de Tchernobyl et Fukushima).



AVEC LE SOUTIEN
DE LA
VILLE DE GENÈVE



DES PANACHES RADIOACTIFS ☁

Pour protéger la population, il faut anticiper les déplacements des rejets mais les prévisions sont délicates car les processus sont complexes. Ils dépendent notamment :

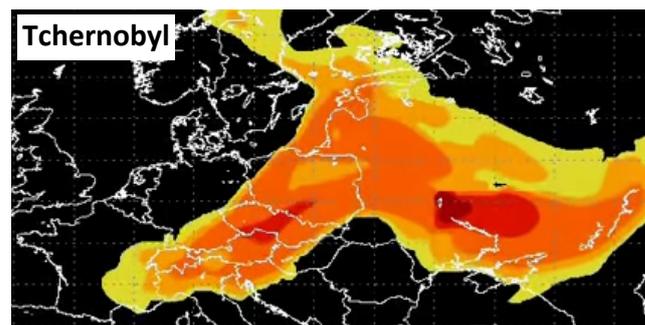
- **des caractéristiques des rejets** : durée, altitudes, modalités (explosion, incendie ...) ; nature, activité et forme chimique (gaz, aérosols ...) des radionucléides ;
- **des conditions météorologiques** : directions et vitesses du vent (qui varient avec l'altitude et évoluent dans le temps) ; survenue de précipitations qui vont lessiver l'air contaminé et augmenter les dépôts au sol.

La contamination de l'air va diminuer du fait :

- 1 de la dilatation du panache sous l'effet des turbulences,
- 2 des transferts de l'air au sol (dépôts secs et humides),
- 3 de la désintégration des radionucléides à vie courte.

Des balises d'alerte peuvent contrôler en temps réel la radioactivité de l'air.

La pluie peut créer des zones à risque très loin du point de rejet. Les retombées de Tchernobyl ont nécessité des mesures de protection à plus de 2 000 km de distance (contrôle du Cs¹³⁷ dans la viande de mouton pendant plus de 20 ans au Royaume-Uni).

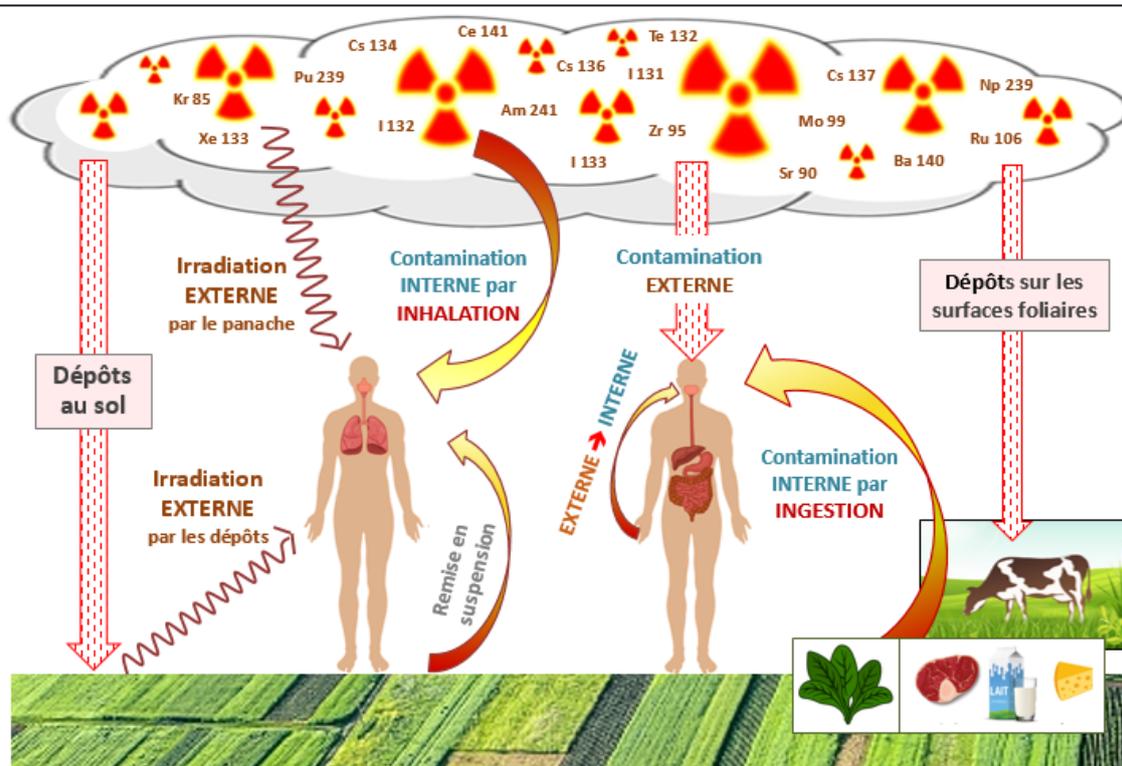


Simulation erronée pour la Corse

Modélisation IRSN (2005) montrant la complexité de la dispersion : situation le 1er mai 1986, à minuit, 5 jours après l'explosion du 26 avril.

A Tchernobyl comme à Fukushima, des habitants ont été évacués vers des zones plus contaminées que celle qu'ils avaient quittée.

VOIES D'EXPOSITION A LA RADIOACTIVITE ✦



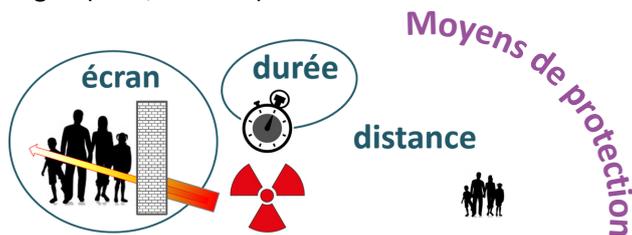
IRRADIATION EXTERNE



Les substances radioactives sont à distance : le corps est exposé aux rayonnements qu'elles émettent en se désintégrant. Les rayonnements les plus pénétrants sont les gamma (γ) et

les neutrons (n) qui peuvent parcourir des centaines de mètres dans l'air et traverser la matière (mais les neutrons sont rares au-delà des abords du réacteur accidenté).

L'irradiation à partir du panache radioactif est d'assez courte durée : quelques heures, jours, semaines, en fonction de la durée des rejets et des trajectoires des panaches. L'irradiation à partir des substances radioactives qui se déposent au sol peut persister des décennies, des siècles ... : les débits de dose initiaux peuvent être très élevés mais ils décroissent assez vite avec la disparition des radionucléides à vie courte (Xe^{133} , Te^{132} , I^{131} ...). Reste une irradiation durable due aux radionucléides à vie moyenne ($\text{Ag}^{110\text{m}}$, Cs^{134}) ou longue (Cs^{137} , Am^{241} ...).



• Eloignement :

- 1 évacuation vers des zones préservées, puis retour après le passage du panache et la baisse du rayonnement γ émis par le sol ;
- 2 relogement (durable ou définitif) si les dépôts sont trop élevés.

• Mise à l'abri : si possible dans un bâtiment aux murs épais et denses (pierres en granit ou calcaire > béton > bois). Il faut 22 cm de béton pour diviser par 10 les radiations γ émises par le césium 137. L'épaisseur des vitres est insuffisante. La protection est minime dans une voiture (-20%).

• Durée : le risque est fonction de l'intensité du rayonnement mais aussi du temps d'exposition. Prendre sa voiture pour quitter la zone à risque (1h30 x 20 $\mu\text{Sv/h}$ => 30 μSv) peut être préférable à un confinement prolongé (5 j x 24 h x 3 $\mu\text{Sv/h}$ => 360 μSv).

CONTAMINATION EXTERNE



Les substances radioactives sont en contact avec la peau, les cheveux, les ongles (et par extension, avec les vêtements, chaussures ...). Les voies sont multiples : exposition à l'air, à la

pluie et contact avec toute surface contaminée, en particulier à l'extérieur.

Les rayonnements bêta (β^-) sont les plus dangereux pour la peau car leur portée correspond aux cellules radiosensibles qui assurent le renouvellement de l'épiderme.

Il faut agir vite pour éviter qu'une contamination externe ne se transforme en contamination interne :

- 1 ingestion involontaire par transfert des doigts aux aliments, à la bouche ... ;
- 2 passage via les lésions de la peau (ou à travers la peau pour le tritium et l'iode).

Moyens de protection

- Utiliser des équipements jetables (combinaison, gants) et imperméables (faciles à décontaminer) ; aménager un sas entre l'habitat à protéger et l'extérieur contaminé (y laisser chaussures, vêtements extérieurs, sacs plastiques pour le linge à laver, etc.).
- Se doucher en utilisant un savon doux, sans abraser la peau, en évitant toute pénétration d'eau contaminée (bouche, yeux, nez ...).

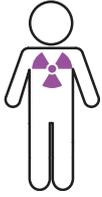
L'activité (ou radioactivité) d'un produit radioactif (ou radionucléide) se mesure en becquerel (Bq).

1 Bq = 1 désintégration /seconde.

- dans l'air : en Bq/m^3 ,
- dans les dépôts au sol : en Bq/m^2 ,
- dans les aliments : Bq/kg (ou Bq/l).

Le débit de dose évalue le risque lié au rayonnement émis par les radionucléides présents. Il se mesure en microSieverts par heure ($\mu\text{Sv/h}$).

CONTAMINATION INTERNE par inhalation



Les gaz et aérosols radioactifs présents dans l'air peuvent se fixer dans les poumons, passer dans le sang et irradier les organes cibles. Les gaz rares radioactifs (Xe 133, Kr 85)

peuvent être abondants mais ne sont pas métabolisés ; les radionucléides les plus dangereux sont ceux qui émettent des rayonnements α très irradiants : Pu²³⁹, Pu²⁴⁰, Np²³⁹, Am²⁴¹, Cm²⁴², ...

Le risque est maximum pendant le passage du panache radioactif. Les expositions ultérieures sont liées à la contamination du sol (remise en suspension par le vent, accrue lors des travaux) et des forêts (les incendies provoquent la combustion de la canopée et de la litière, la radioactivité se propage avec la fumée et se concentre dans les cendres).

Moyens de protection

- Eloignement et écrans : l'évacuation préventive est la plus efficace (à privilégier pour les

nourrissons, femmes enceintes et allaitantes). La mise à l'abri n'est efficace que quelques heures car on ne peut que ralentir l'entrée d'air contaminé. Il faut boucher les prises d'air, arrêter ventilation et climatisation ... mais étanchéifier l'habitable est impossible et serait dangereux (apport d'oxygène et élimination du CO₂ sont en effet indispensables, en particulier avec des appareils à combustion).

- Protections respiratoires : les masques doivent associer haute capacité de filtration des aérosols (FFP3 \geq 99%) et de l'iode gazeux (cartouches à charbon actif). Des appareils avec alimentation autonome en air apportent une protection complète, mais très inconfortable. En admettant qu'ils soient disponibles, les masques ne peuvent être portés de façon prolongée et leur usage est exclu pour ceux qui en ont le plus besoin : les nourrissons et les jeunes enfants.

CONTAMINATION INTERNE par ingestion



L'ingestion d'aliments contaminés est souvent la principale voie d'exposition alors qu'elle est, a priori, la plus facile à maîtriser.

Phase initiale : contamination élevée liée aux retombées atmosphériques.

La contamination des aliments peut être :

- ① directe par dépôt sur les surfaces foliaires des végétaux (une pluie intense augmente les dépôts au sol mais une partie seulement est interceptée par les plantes) ;
- ② indirecte du fait de la consommation des végétaux contaminés par les animaux exploités par l'Homme.

Il faut agir vite : la contamination des cultures est immédiate ; celle du lait très rapide (quelques heures pour l'iode radioactif). Attention : ne pas récupérer l'eau de pluie contaminée pour la boisson ou l'arrosage.

Long terme : les racines des plantes absorbent les radionucléides présents dans le sol. L'absorption racinaire est moins efficace que le dépôt direct mais bien plus durable car la plupart des radionucléides (césium, plutonium ...) restent concentrés dans les couches superficielles du sol. Le strontium migre plus facilement vers les nappes.

Aliments à risque

Produits agricoles et d'élevage

L'impact des retombées varie selon la saison, le stade végétatif des plantes et la surface d'interception de leurs organes aériens.

Les concentrations sont maximales dans les légumes à larges feuilles : laitues, épinards, poireaux, blettes, choux chinois, etc. Les cultures sous serre sont protégées des dépôts humides mais pas des dépôts secs (sauf arrêt de la ventilation et colmatage).

L'impact est maximum sur le bétail qui pâture : l'iode se retrouve de préférence dans le lait et le césium dans la viande. La solution est la mise en stabulation précoce des bêtes, avec approvisionnement en fourrage et grains non contaminés.



Ecosystèmes naturels

Dans les forêts, la contamination reste superficielle (litière) et les transferts sont très actifs. Attention aux champignons (bolets bails, lactaires délicieux, ...), aux baies (myrtilles, airelles, canneberges ...) et au gibier (sangliers notamment). Tchernobyl a aussi montré la contamination des oiseaux migrateurs (bécasses par exemple) et de la viande de renne (liée à la consommation de lichens).



La radioactivité se concentre dans les cendres du bois de chauffage : ne pas les utiliser pour l'amendement des sols !

Certaines plantes aromatiques, adaptées aux climats secs, ont une forte capacité d'absorption (cas du thym). Les produits de la pêche venant de lacs collinaires sont contaminés du fait des dépôts, puis du ruissellement.

COMPRIMÉS D'IODURE DE POTASSIUM

L'ingestion d'une dose massive d'iode stable permet de saturer la thyroïde et peut, sous condition de délai, empêcher la fixation de l'iode radioactif.

La dose varie avec l'âge : de 1/4 de comprimé pour le nouveau-né à 2 comprimés (soit 130 mg) pour un adulte.

Seule la thyroïde est protégée et uniquement contre l'iode radioactif : ni contre l'irradiation externe, ni contre l'irradiation interne par d'autres radionucléides. L'effet n'est suffisant que 24 à 48 h (alors que les rejets peuvent se prolonger) et une seconde prise est déconseillée pour les nouveau-nés et les femmes enceintes.

Si l'iode est pris quelques heures avant le rejet, la protection est presque totale mais toute heure de retard diminue son efficacité : seulement 60% après 3 h ; 50% après 6 h. D'où l'importance de la distribution préventive au domicile et dans les lieux collectifs mais elle est souvent sous-dimensionnée en regard de l'étendue des contaminations. En Suisse, le rayon de pré-distribution a été porté de 20 km à 50 km en 2012 ; en France de 10 km à 20 km en 2016.

L'ordre de prendre les comprimés ne sera donné que si la dose reçue par la thyroïde (du fait de l'inhalation d'iode radioactif) risque de dépasser un certain seuil : 50 mSv en France et en Suisse. Plusieurs pays (Belgique, Italie ...) ont adopté, pour les enfants, les femmes enceintes et allaitantes, le seuil plus protecteur de 10 mSv recommandé par l'OMS.

Les contre-indications sont rares et les effets secondaires limités mais l'absence d'hypothyroïdie doit être vérifiée chez les nouveau-nés après la prise. En Suisse, l'iode stable est déconseillé aux personnes de plus de 45 ans, considérant que le risque d'effets indésirables augmente alors que le risque de cancer radio-induit diminue. NB : ne pas confondre allergie aux produits de la mer (ou aux produits de contraste iodés) et allergie à l'iode (très rare).

Anticiper

- ① éviter les carences alimentaires en iode (qui augmentent l'avidité de la thyroïde pour l'iode radioactif) ;
- ② s'assurer d'un stock suffisant de comprimés (plusieurs prises seront peut-être nécessaires) ;
- ③ demander conseil à son médecin pour les contre-indications (notamment pour les personnes souffrant d'une maladie thyroïdienne).

CONTRÔLE ET RETRAIT DES ALIMENTS

La contamination est maximale pendant les rejets et les semaines qui suivent. Il faut éviter les aliments à risque sans attendre les résultats d'analyses (souvent tardifs).

L'achat d'aliments dont le taux de radioactivité est conforme aux NMA (Niveaux Maximaux Admissibles) n'apporte pas une protection suffisante, en particulier aux enfants. Ces limites sont en effet dimensionnées pour un accident lointain, ne touchant que 10% des aliments. Si le pourcentage est supérieur, le risque dépassera le maximum admissible. Sans compter que l'irradiation spécifique de la thyroïde par l'iode radioactif n'a pas été prise en compte : des aliments qui respectent les limites pourraient exposer les enfants à des risques de cancer tout à fait inacceptables.

Moyens de protection

- ① choisir des aliments non impactés par les dépôts (lait en poudre, conserves, ...) ;
- ② attendre la disparition des radionucléides à vie courte ;
- ③ adopter des pratiques culinaires décontaminantes (bien laver, ôter les feuilles extérieures, peler, cuire à l'eau, etc.) ;
- ④ en cas de pénurie contraignant à consommer des aliments trop contaminés par l'iode radioactif, prendre la dose adéquate d'iode stable sachant que l'apport rapide d'aliments sains est indispensable, impératif pour les nouveau-nés et les foetus ;
- ⑤ accélérer l'élimination (cures de pectine de pomme contre le césium).

Catégorie d'aliments :	Lait maternisé (1er âge)	Produits laitiers lait, fromage	Autres aliments sauf mineurs	Aliments de moindre importance	Liquides alimentaires sauf eau potable
Groupe de radionucléides :					
Total strontium : Sr ⁹⁰ + Sr ⁸⁹ ...	75	125	750	7 500	125
Total iode : I ¹³¹ + I ¹³² + I ¹³³ ...	150	500	2 000	20 000	500
Total transuraniens α : Pu ²³⁹ + Am ²⁴¹ ...	1	20	80	800	20
Total T _{radioactive} > 10 j : Cs ¹³⁴ + Cs ¹³⁷ ...	400	1 000	1 250	12 500	1 000
Activité totale maximale autorisée	626	1 645	4 080	40 800	1 645

Eau potable

Les limites applicables sont bien plus basses (césium 137 : 11 Bq/l ; iode 131 : 7 Bq/l ...) mais la réglementation européenne autorise les Etats membres à utiliser les NMA fixés pour les « liquides alimentaires ».

La radioactivité du fourrage et des grains se retrouve en partie dans les produits consommés par l'Homme. En Europe, l'activité du césium dans les aliments pour animaux ne doit pas dépasser 1250 Bq/kg (porcs), 3 000 Bq/kg (volaille, veaux et agneaux) et 5 000 Bq/kg (autre bétail notamment boeufs). Ces valeurs sont élevées : en avril 2011, les autorités japonaises ont fixé une limite de 300 Bq/kg pour les aliments destinés aux bovins, porcs et volailles et de 100 Bq/kg pour l'alimentation des poissons d'élevage.