# RADIOACTIVITÉ
## DÉCOUVRIR & COMPRENDRE




AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# LA RADIOACTIVITÉ, C'EST QUOI ?






1.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : zlikovec/Adobe Stock, Olivier Seignette/Mikaël Lafontan/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

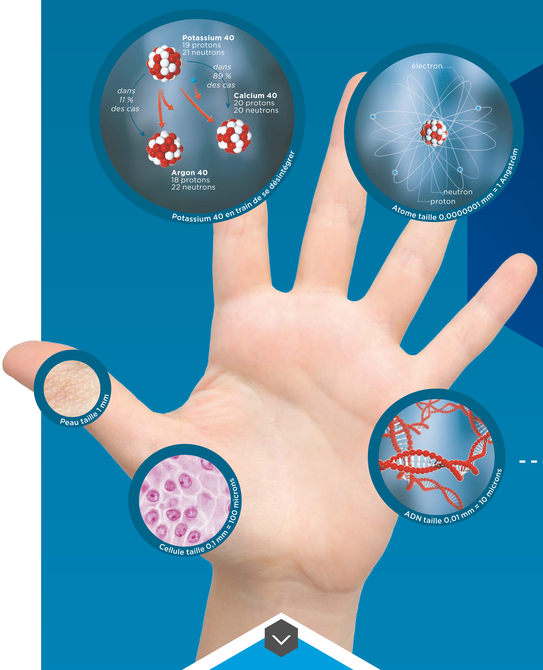
asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ, C'EST QUOI ?

# VOYAGE AU CENTRE DE LA MATIÈRE

**Notre corps est composé d'une multitude de minuscules grains : les atomes.**
**Connectés les uns aux autres, ils forment les molécules qui elles-mêmes constituent la structure de base de la matière.**




## DE QUOI EST FAIT UN ATOME ?

Un atome est lui-même composé d'un noyau et, autour, d'un nuage d'électrons. Ces électrons sont les mêmes qui parcourent nos fils électriques.

Dans le noyau, il y a 2 types de particules : les **neutrons** et les **protons.** Le nombre de protons détermine la propriété chimique de l'atome. Les neutrons peuvent être plus ou moins nombreux dans un même élément formant des isotopes différents.

Certains sont radioactifs. Par exemple, le carbone 12 avec 6 neutrons est stable, et le carbone 14 avec 8 neutrons est instable et radioactif.

## ET LES MOLÉCULES ?

Les atomes se connectent les uns aux autres pour former des molécules.

Les molécules se connectent également entre elles pour former toutes sortes de structures, cellules, objets et êtres vivants.

## ATOMES INSTABLES

La plupart des atomes sont stables, c'est-à-dire qu'ils ne changent pas au fil du temps.

Certains sont instables et se transforment en d'autres atomes, tout en émettant des rayonnements : c'est le phénomène de **la radioactivité.**

## EN DÉBAT
## LA RADIOACTIVITÉ, UNE INVENTION DE L'HOMME ?

**La radioactivité est un phénomène naturel, présent partout, qui est apparu dès l'origine de la Terre. On retrouve des éléments radioactifs dans les roches, l'eau, les fruits ou encore dans notre propre corps.**

**La découverte de la radioactivité a engendré des inventions produisant des matières radioactives artificielles. Certaines, très radioactives, pourraient s'avérer dangereuses pour les générations actuelles ou futures si elles n'étaient pas confinées et contrôlées.**

**En tout état de cause, connaître l'origine de la radioactivité permet de mieux comprendre les phénomènes.**

1.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative – Photos : La-fabrique-créative, Denys Prykhodov/Adobe Stock, German Wikipedia/XenonR, BSIP/BAGHEERA/PROPIXO
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ, C'EST QUOI ?

# TROIS SORTES DE RAYONNEMENTS

**Certains atomes se transforment au fil du temps en émettant des rayonnements invisibles. Des matériaux qui contiennent de tels atomes sont dits radioactifs !**

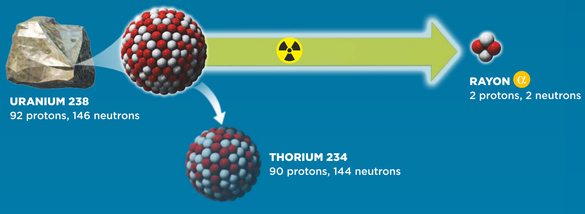
Scientifiquement, on dit qu'un atome qui se transforme par le processus de radioactivité se désintègre. En effet, il perd son intégrité (il se dés-intègre) en libérant des particules avec plus ou moins d'énergie.

Selon sa nature, un atome peut émettre trois types de rayonnements différents : **alpha, bêta ou gamma.**

## RAYONNEMENT ALPHA (α)

Certains atomes lourds se transforment en émettant une particule massive, formée de deux protons et deux neutrons, c'est un noyau d'hélium que l'on appelle **particule alpha**.

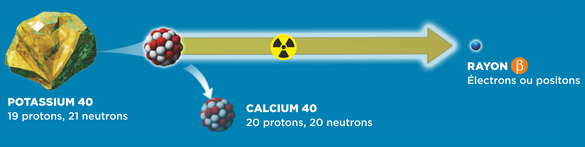
Par sa grande taille, la particule alpha est peu pénétrante et arrêtée par une simple feuille de papier. En revanche, elle libère une énergie importante lors de son impact.




## RAYONNEMENT BÊTA (β)

Dans le noyau d'un atome, un neutron peut se changer en proton ou inversement, un proton peut se changer en neutron. Cette transformation s'accompagne de l'émission d'une particule électrisée appelée **particule bêta.**

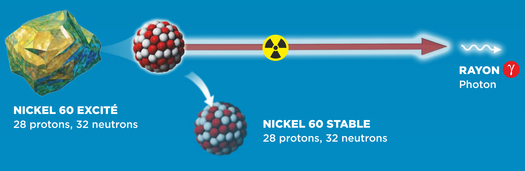
Ces particules électrisées, des électrons ou des positons, peuvent traverser du papier mais sont arrêtées par une feuille d'aluminium. Plus pénétrantes que les particules alpha, elles déposent aussi leur énergie plus progressivement au fil de leur parcours.



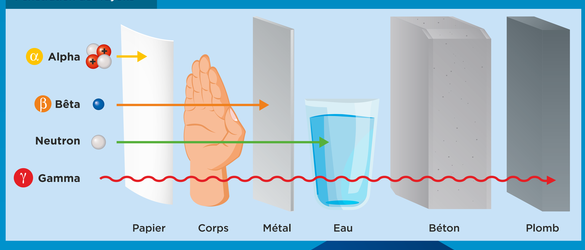

## RAYONNEMENT GAMMA (γ)

Après avoir émis une particule alpha ou bêta, certains atomes se retrouvent dans un état perturbé. Ils émettent alors un **rayonnement gamma** pour se stabiliser. Les rayons gamma ne sont pas composés de particules matérielles mais de grains de lumière, des photons.

Le rayonnement gamma est très pénétrant et il faut plusieurs centimètres de plomb ou des dizaines de centimètres de béton pour les arrêter. Il est difficile de s'en protéger.




Pénétration des rayons




Certaines matières sont radioactives : elles émettent des rayonnements avec plus ou moins d'énergie.

Ces rayonnements sont tous dangereux **et nécessitent des moyens de protection adaptés.**

1.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois, Freepik, Kazoar
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

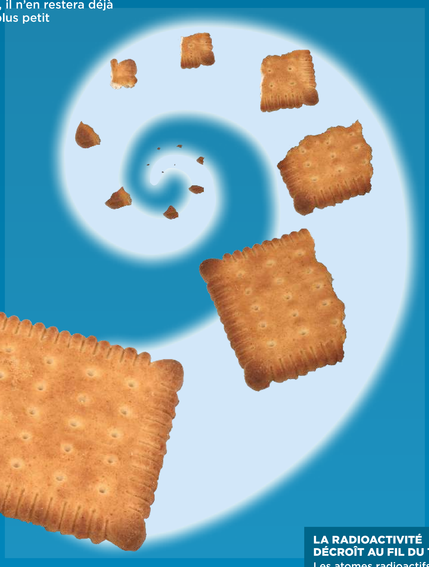
LA RADIOACTIVITÉ, C'EST QUOI ?

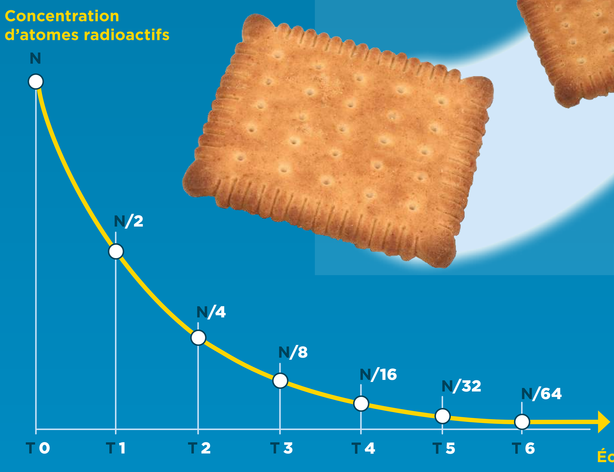
# COMBIEN DE TEMPS DURE LA RADIOACTIVITÉ ?

**La radioactivité n'est pas éternelle. Les matières radioactives perdent des particules au fil du temps, ne laissant au final que de la matière stable. Cela se produit-il rapidement ? Pour le savoir, il faut s'intéresser à la notion de demi-vie.**

## LA RADIOACTIVITÉ GRIGNOTÉE

Les matières radioactives le sont de moins en moins au fil du temps. C'est un peu comme si vous décidiez de grignoter chaque jour un biscuit en croquant la moitié de ce qu'il reste. Au bout d'une journée, le biscuit aura la moitié de sa taille. En trois jours, il n'en restera déjà qu'un huitième. Puis le morceau sera de plus en plus petit mais cela peut durer encore longtemps.






**LA RADIOACTIVITÉ DÉCROÎT AU FIL DU TEMPS**

Les atomes radioactifs se désintègrent : il y en a de moins en moins.

Et moins il reste d'atomes radioactifs, moins la radioactivité est intense.

La radioactivité décroît selon une courbe que l'on appelle exponentielle, qui s'écrase de plus en plus au fil du temps.

## LA DEMI-VIE

Les physiciens appellent la **demi-vie** d'une matière radioactive le temps au bout duquel la moitié des atomes de départ se sont désintégrés.

La demi-vie donne une bonne indication de la **rapidité de disparition** d'une matière radioactive.

Dans le cas ci-dessus, les scientifiques diraient que le biscuit a une demi-vie d'une journée : il fait la moitié de sa taille au bout d'un jour.

### EXEMPLES

**LE TECHNÉTIUM 99m**

Demi-vie : 6 heures.
Il a une demi-vie très courte. Il est utilisé pour faire des diagnostics médicaux. Il est éliminé rapidement.

**LE POTASSIUM 40**

Demi-vie : 1,35 milliard d'années.
Contenu dans le sol, il est aussi présent dans les aliments et le corps humain.

**L'URANIUM 238**

Demi-vie : 4,5 milliards d'années.
Comme celui contenu dans les roches de granite, sa demi-vie équivaut à l'âge de la Terre.
La Terre contient deux fois moins d'uranium 238 qu'à son origine.

Il faudra 300 ans pour que la quantité de césium 137 rejetée lors de l'accident de Fukushima soit **divisée par mille.**

La même diminution est obtenue au bout de 80 jours pour l'iode radioactif 131 qui a disparu en quelques mois.

1.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

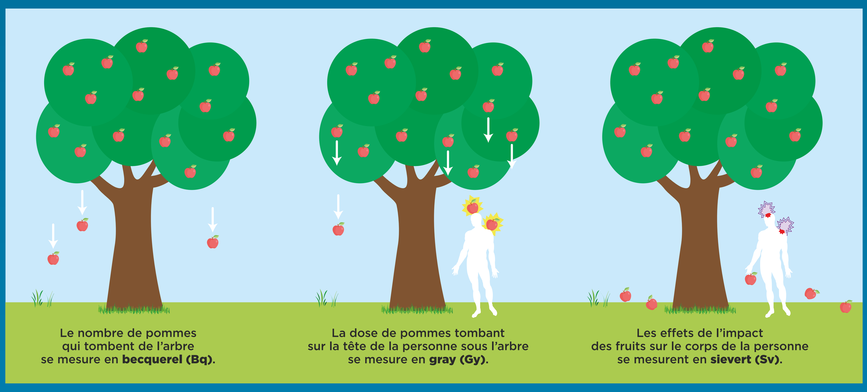
IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ, C'EST QUOI ?

# LES UNITÉS DE MESURE DE LA RADIOACTIVITÉ

**Certaines matières sont radioactives : elles émettent des rayonnements avec plus ou moins d'énergie.**
**Pour mesurer précisément la radioactivité, on utilise 3 unités de mesure complémentaires : le gray, le becquerel et le sievert.**

## LORSQU'ON COMPARE UN POMMIER À UNE SOURCE RADIOACTIVE



Le nombre de pommes qui tombent de l'arbre se mesure en **becquerel (Bq)**.

La dose de pommes tombant sur la tête de la personne sous l'arbre se mesure en **gray (Gy)**.

Les effets de l'impact des fruits sur le corps de la personne se mesurent en **sievert (Sv)**.

## L'ACTIVITÉ D'UNE SOURCE

Le nombre de becquerels correspond au nombre de fois par seconde où la source émet un rayonnement. Plus son nombre est grand, plus l'activité de la source est grande.

Le compteur Geiger sert à mesurer la radioactivité et donne la mesure et chaque désintégration enregistrée est convertie en son.



## LA DOSE REÇUE

Le gray est utilisé pour mesurer l'énergie due à la quantité de rayonnement reçue. On parle alors de dose reçue.

Le dosimètre est destiné à mesurer la dose radioactive ou l'équivalent de dose reçue par une personne exposée à un rayonnement radioactif.




## LA DOSE EFFICACE

Le sievert est la mesure de la dangerosité. Lorsqu'il s'agit spécifiquement du corps humain, les effets des différents rayonnements varient selon les organes ou tissus touchés. Certains sont plus sensibles que d'autres.

La dose reçue par un organe résulte d'un calcul qui prend en compte différents facteurs. Par exemple, on applique des facteurs de pondération différents selon les organes touchés.

**PONDÉRATION SELON LES ORGANES TOUCHÉS PAR LA DOSE REÇUE**

- Sein 0,12
- Colon 0,12
- Poumon 0,12
- Estomac 0,12
- Cœur 0,12
- Pancréas 0,12
- Intestin grêle 0,12
- Col utérus 0,12
- Muscles 0,12
- Moelle osseuse 0,12
- Prostate 0,12
- Gonade 0,08
- Vessie 0,04
- Foie 0,04
- Thyroïde 0,04
- Cerveau 0,01
- Peau 0,01

### Quelques chiffres

- **0,03 mSv :** un vol Paris/New-York, dose due aux rayonnements naturels cosmiques en haute atmosphère.
- **0,7 mSv :** une radio des poumons.
- **3 mSv :** un an d'exposition à la radioactivité naturelle en France.
- **10 mSv :** un scanner.
- **100 mSv :** valeur au-delà de laquelle l'augmentation des risques de cancer a été mesurée.
- **Au-delà de 1 Sv (1000 mSv)** reçu en peu de temps, les rayonnements peuvent causer des troubles et des dysfonctionnements avérés, voire entraîner la mort à court ou moyen terme.

## CALCULEZ LA DOSE REÇUE

**Calculez la dose reçue pour votre prochain vol en flashant le QR Code suivant ou sur http://www.sievert-system.org/**

1.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : Kazoar – Photos : IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ, C'EST QUOI ?

# TOUS EXPOSÉS

**Nous sommes tous exposés en permanence et à faibles doses à la radioactivité, qu'elle soit d'origine naturelle ou artificielle.**

## RADIOACTIVITÉ NATURELLE OU RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE ?

Des rayonnements venant du cosmos ou de la Terre à l'air que nous respirons, en passant par les aliments que nous mangeons, nous ingérons, chaque jour, des atomes radioactifs naturellement présents dans notre environnement.

Les installations nucléaires génèrent également des rejets et des déchets dans l'air. À l'hôpital, les médecins utilisent également des appareils qui émettent des rayonnements, radios et scanner, pour nous soigner.

Deux types d'exposition sont à prendre en compte : l'exposition articielle et l'exposition naturelle.



**EXPOSITIONS MÉDICALES**

1,5 mSv



**RADON**
Gaz radioactif émanant du sous-sol

1,5 mSv



**INDUSTRIES**
et recherches, essais nucléaires militaires...

0,012 mSv



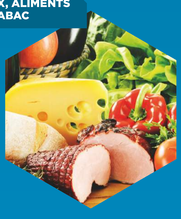
**RAYONNEMENTS TERRESTRES**
(minéraux radioactifs des sols) hors radon

0,63 mSv



**RAYONNEMENTS COSMIQUES**

0,32 mSv



**EAUX, ALIMENTS ET TABAC**

0,55 mSv

EXPOSITION ARTIFICIELLE

EXPOSITION NATURELLE

**TOTAL**
exposition moyenne des Français
**4,5 mSv/an**

## DES NIVEAUX D'EXPOSITION VARIABLES

Notre exposition varie en fonction des habitudes de vie, du lieu d'habitation ou de la fréquence des examens médicaux (radiographies et scanners). Cela conduit à une dose annuelle très différente d'une personne à l'autre.

### PAR EXEMPLE

Une personne qui fait beaucoup de ski (altitude), mange une grande quantité de bananes (potassium naturellement radioactif), vit en Bretagne (granite naturellement radioactif) ou encore fait de nombreux examens médicaux ou voyages en avion sera bien plus exposée qu'une autre personne vivant en Île-de-France, fréquentant peu les hôpitaux et séjournant rarement en altitude.

### CALCULEZ VOTRE EXPOSITION ANNUELLE

**Calculez votre exposition annuelle en flashant le QR Code suivant ou sur https://expop.irsn.fr/**

1.6 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Image Supply Co/Adobe Stock, engel.ac/Adobe Stock, davidyoung11111/Adobe Stock, monticelllio/Adobe Stock, kikabu/Adobe Stock, Adobe Stock
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ, C'EST QUOI ?

# LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ALIMENTS

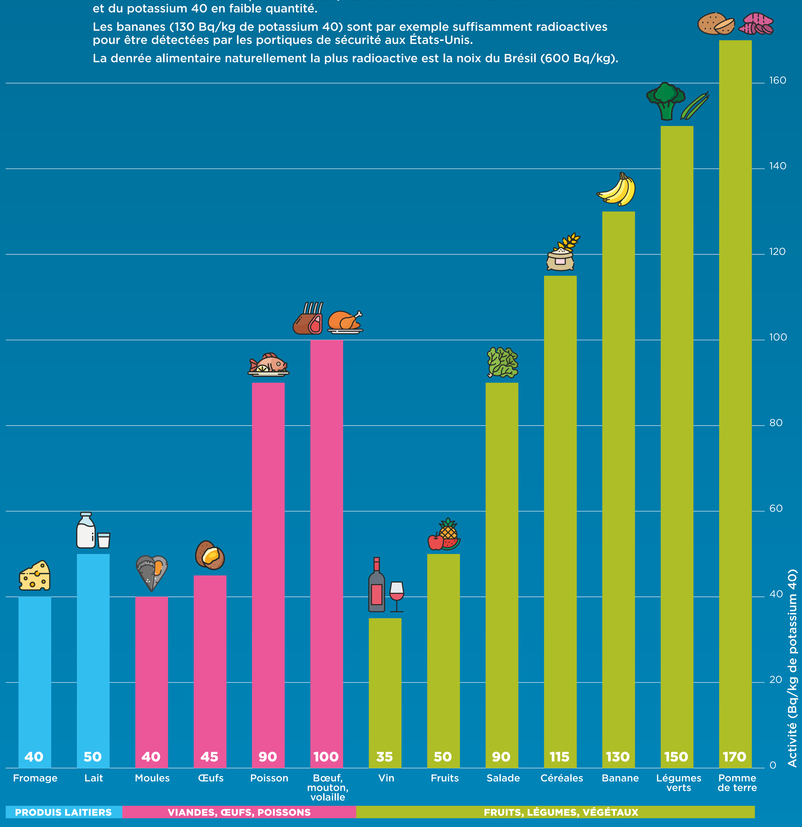
**Les aliments que nous consommons sont naturellement radioactifs.**

## DES SUBSTANCES NATURELLEMENT RADIOACTIVES

Tous nos aliments sont un peu radioactifs, car ils contiennent des éléments comme du carbone 14 et du potassium 40 en faible quantité.

Les bananes (130 Bq/kg de potassium 40) sont par exemple suffisamment radioactives pour être détectées par les portiques de sécurité aux États-Unis.

La denrée alimentaire naturellement la plus radioactive est la noix du Brésil (600 Bq/kg).




## MESURER PRÉCISÉMENT LA DOSE REÇUE NATURELLEMENT

Selon sa nature, un élément radioactif va se fixer sur un organe ou sur un autre. Le corps ne stocke pas tous ces éléments, il évacue la quantité qui ne lui est pas nécessaire ou l'élimine peu à peu.

Par exemple, seule une quantité limitée de potassium 40 est fixée par le corps, le reste est éliminé. Le carbone 14 s'élimine pour moitié en 40 jours. En revanche, le corps peut stocker le polonium 210 (très présent dans le poisson et les crustacés) sans limite. **0,55 mSv/an** c'est le calcul de la dose moyenne ingérée en France.

Un tableau permet de convertir la quantité de becquerels d'un radioélément ingéré en millisieverts, selon l'âge de la personne. Par exemple, dans les crustacés, il y a naturellement 18 Bq/kg de polonium 210 et 10 Bq/kg dans les petits poissons. Imaginons que l'on ait ingéré 100 Bq de polonium 210 en mangeant beaucoup de poisson ou de crustacés (environ 10 kg) :
- un adulte aura une dose de $1{,}2 \times 10^{-6} \times 10^{2} = 0{,}12\ 10^{-3}$ sieverts donc 0,12 mSv ;
- un enfant de 5 ans aura une dose de $4{,}4 \times 10^{-6} \times 10^{2} = 0{,}44\ 10^{-3}$ sieverts donc 0,44 mSv.

| Radioélément | Âge | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 an | 5 ans | 10 ans | 15 ans | Adulte |
| Potassium 40 | $4{,}2\ 10^{-8}$ | $2{,}1\ 10^{-8}$ | $1{,}3\ 10^{-8}$ | $7{,}6\ 10^{-9}$ | $6{,}2\ 10^{-9}$ |
| Carbone 14 | $1{,}6\ 10^{-9}$ | $9{,}9\ 10^{-10}$ | $8{,}0\ 10^{-10}$ | $5{,}7\ 10^{-10}$ | $5{,}8\ 10^{-10}$ |
| Polonium 210 | $2{,}6\ 10^{-5}$ | $4{,}4\ 10^{-6}$ | $2{,}6\ 10^{-6}$ | $1{,}6\ 10^{-6}$ | $1{,}2\ 10^{-6}$ |

La **noix du Brésil** est l'aliment naturellement le plus **radioactif.**

Elle est composée de **trois cent mille milliards de milliards d'atomes** (300 000 000 000 000 000 000 000).

Chaque minute, une vingtaine de ces atomes émettent un rayonnement.

1.7 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : Flaticon, Kazoar
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ, C'EST QUOI ?

# FABRIQUER LA RADIOACTIVITÉ

**C'est à la fin du XIX^e siècle que l'Homme a compris le phénomène naturel de la radioactivité. Cela lui a permis de créer d'autres éléments radioactifs et de les utiliser dans de nombreux domaines : c'est la radioactivité artificielle.**

## LES DÉBUTS DE LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE

Dans les premiers jours de l'année 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie annonçaient dans une note à l'Académie des sciences qu'ils avaient fabriqué un atome radioactif qui n'existait pas dans la nature.

En bombardant une feuille d'aluminium avec une source de rayons alpha, ils observent en effet l'apparition d'un élément inconnu. Cet élément s'avérera être **un isotope du phosphore, le phosphore 30.**

*« J'irradie cette cible avec des rayons alpha provenant de ma source de polonium ; vous pouvez entendre le compteur Geiger cliqueter [...] J'enlève la source : le cliquetis devrait s'arrêter... mais le bruit continue... »*

Frédéric Joliot-Curie

## LES APPLICATIONS DE LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE

Des éléments radioactifs comme l'uranium ou le potassium sont présents naturellement dans notre environnement depuis le début de l'univers, car ils ont une longue durée de vie.

Les autres éléments à durée de vie plus courte, qui étaient aussi présents à l'origine de l'univers, ont disparu depuis. On sait cependant aujourd'hui fabriquer ces éléments et en créer d'autres plus ou moins éphémères pour des besoins énergétiques, militaires, médicaux et scientifiques.




INDUSTRIE



ÉLECTRONUCLÉAIRE



RECHERCHE



MÉDECINE



MILITAIRE

1.8 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : ASN/T. Prat, Medde/Arnaud Bouissou, L. Zylberman/Graphix-Images, commons wikimedia/Motokoka, L. Zylberman/Graphix-Images
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# LA RADIOACTIVITÉ, C'EST QUOI ?

# LA RADIOACTIVITÉ EN QUELQUES DATES

**Depuis sa découverte à la fin du XIX^e siècle, la radioactivité a donné lieu à des applications dans différents domaines (recherche, médical, militaire, électronucléaire, industrie) et une prise en charge des risques associés.**

## CHRONOLOGIE DE LA RADIOACTIVITÉ

**12 au 15 mars 2011**
Accident nucléaire de Fukushima (Japon)

**2006**
Création de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et promulgation de la loi relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (loi TSN)

**2001**
Création de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), né de la fusion de l'OPRI et de l'IPSN

**1996**
Dernier essai nucléaire français en Polynésie française et lancement du programme Laser Mégajoule pour la simulation du fonctionnement des armes nucléaires

**28 mars 1979**
Accident nucléaire de Three Mile Island (États-Unis)

**26 avril 1986**
Accident nucléaire de Tchernobyl (Ukraine)

**1976**
Création de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) au sein du CEA

**1973**
Début du déploiement massif du nucléaire en France (plan Messmer)

**1973**
Création du Service central de sûreté des installations nucléaires (SCSIN) rattaché au ministère de l'Industrie, devenu l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en 2006

**1972**
Invention du scanner médical par Godfrey N. Hounsfield

**1er juillet 1968**
Entrée en vigueur du Traité de non-prolifération des armes nucléaires (TNP)

**1957**
Accident de Windscale (Royaume-Uni), premier accident nucléaire d'envergure

**1957**
Création du Service central de protection contre les rayonnements ionisants (SCPRI), devenu l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) en 1994

**25 mars 1957**
Signature du traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM), qui demeure aujourd'hui l'un des trois traités fondamentaux de l'Union européenne

**29 juillet 1957**
Création de l'Agence internationale de l'énergie nucléaire (AIEA), avec pour mission de promouvoir l'utilisation sûre, sécurisée et pacifique des technologies nucléaires, notamment en luttant contre la prolifération

**16 septembre 1962**
Démarrage de *Chinon A1*, premier réacteur nucléaire d'EDF

**13 février 1960**
Gerboise bleue, première explosion nucléaire française dans le Sahara

**1955**
Création du Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR)

**20 janvier 1955**
Première sortie en mer du *Nautilus*, premier sous-marin nucléaire

**26 juin 1954**
Mise en service du réacteur d'Obninsk (URSS), premier réacteur électrogène au monde, qui a fonctionné jusqu'au 29 avril 2002

**6 décembre 1953**
Discours du président Eisenhower à l'assemblée générale de l'ONU *« Atoms for Peace »* proposant l'utilisation des technologies nucléaires à des fins non militaires

**16 juillet 1945**
Trinity, première explosion nucléaire de l'histoire au Nouveau-Mexique (États-Unis)

**6 août 1945**
Explosion d'Hiroshima

**9 août 1945**
Explosion de Nagasaki

**18 octobre 1945**
Création du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), qui a pour mission de doter la France de l'énergie et de l'arme nucléaire

**20 décembre 1951**
Première production d'électricité nucléaire par le réacteur *BR1* aux États-Unis

**15 décembre 1948**
Divergence de ZOE, premier réacteur français

**9 octobre 1941**
Approbation par Franklin D. Roosevelt du lancement du projet Manhattan qui conduira à la mise au point de l'arme nucléaire et à la création du « cycle nucléaire »

**2 décembre 1942**
Première divergence d'un réacteur nucléaire, *Chicago Pile 1*, conçu par Enrico Fermi

**1934**
Découverte de la radioactivité artificielle par Irène et Frédéric Joliot-Curie

**1938**
Découverte par Hahn, Strassman et Meitner de la fission nucléaire

**1er mai 1939**
Dépôt par Frédéric Joliot-Curie de trois brevets secrets : deux sur le fonctionnement des réacteurs et un sur la possibilité d'un « explosif nucléaire »

**1928**
Mise au point du compteur Geiger-Müller

**1928**
À l'initiative de Rolf Sievert, qui a donné son nom à l'unité mesurant la dose reçue, création du « Comité international de protection contre les rayons X et le radium » qui deviendra la Commission internationale de protection radiologique (CIPR)

**1932**
Découverte du neutron par James Chadwick (prédite en 1920 par Ernest Rutherford)

**1914**
Mise en place des « Petites curies », véhicules que Marie Curie a équipés d'unités de radiologie qui permettaient de se rendre au plus près des blessés durant la première Guerre mondiale

**1900**
Première observation des effets physiologiques des rayonnements ionisants (inflammation de la peau après une exposition)

**1901**
Premiers résultats liés à l'utilisation du radium pour traiter une maladie

**21 décembre 1898**
Découverte du radium par Marie et Pierre Curie

**2 mars 1896**
Découverte de la radioactivité par Henri Becquerel

**Juillet 1896**
Première radiothérapie réalisée à Lyon par le docteur Victor Despeignes pour traiter une tumeur à l'estomac

**22 décembre 1895**
Première radiographie par Wilhelm Röntgen, qui découvre les rayons X

1.9 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Picto : Freepik, Kazoar – Illustration : Kazoar
Photos : Commons Wikimedia/Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, P. Labeguerie/CEA, Commons Wikimedia/IAEA Imagebank, Commons Wikimedia/United States Department of Energy, Commons Wikimedia/Roland Godefroy, Commons Wikimedia/Philipcosson, Commons Wikimedia/Marc Baronnet, Commons Wikimedia/LPLT, Commons Wikimedia, Commons Wikimedia/Steven DUBIG, Commons Wikimedia/Posaa, Commons Wikimedia/US Navy, Commons Wikimedia/Pavel Bykov, Commons Wikimedia/United States Department of Energy, Commons Wikimedia, CEA, Commons Wikimedia/Jack Aeby, Commons Wikimedia/Charles Levy, Commons Wikimedia/Melvin A. Miller of the Argonne National Laboratory, Commons Wikimedia/Hawkeye 7, Commons Wikimedia, Commons Wikimedia, Commons Wikimedia/Agence de presse Meurisse, La fabrique-créative, Commons Wikimedia/Horst Frank, Commons Wikimedia, Commons Wikimedia/Myron Metzenbaum, Commons Wikimedia, Commons Wikimedia/Vitold Muratov, Commons Wikimedia/Paul Naudar, Commons Wikimedia/Graeme Bartlett, Commons Wikimedia/Wilhelm Röntgen
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# LA RADIOACTIVITÉ AUTOUR DE NOUS





2.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : David Claval/Médiathèque IRSN, Arnaud Bouissou/MEDDE/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ AUTOUR DE NOUS

# D'OÙ VIENT LA RADIOACTIVITÉ ?

**Même si la radioactivité a été découverte il y a seulement un peu plus d'un siècle, elle a toujours été présente autour de nous ! Depuis la création de la Terre jusqu'à la fabrication d'éléments radioactifs pour les examens médicaux, ses origines sont multiples.**

## RADIOACTIVITÉ NATURELLE

### RADIOACTIVITÉ TELLURIQUE

Les roches qui composent la Terre contiennent depuis sa formation de nombreux éléments radioactifs. Certaines, comme le granit, sont par exemple connues pour contenir de l'uranium.



Potassium 40, thorium, uranium et ses descendants (radon…)

### RADIOACTIVITÉ COSMOGÉNIQUE

Notre planète est également bombardée en permanence par des particules solaires et interstellaires, les rayonnements cosmiques, à l'origine d'une partie de la radioactivité mesurée au sol et qui croit avec l'altitude. De plus, sous l'influence de ces rayonnements, les atomes constituant l'atmosphère donnent naissance à des éléments radioactifs.

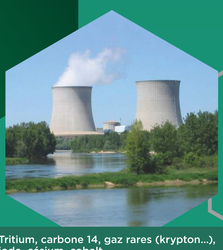


Tritium, carbone 14, béryllium 7…

## RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE

### REJETS DES INSTALLATIONS

Les installations nucléaires en exploitation procèdent à des rejets liquides et gazeux. Ils sont encadrés par la réglementation et surveillés par les autorités en charge de leur contrôle.



Tritium, carbone 14, gaz rares (krypton…), iode, césium, cobalt…

### REJETS LIÉS AU MÉDICAL

Dans le domaine médical, certaines applications comme la scintigraphie nécessitent l'injection au patient de substances radioactives à vie courte. Même si leur radioactivité diminue rapidement, une partie, évacuée par les urines, est rejetée dans l'environnement. Les installations de fabrication des produits radioactifs sont également à l'origine de rejets de faible ampleur qui sont réglementés et contrôlés.



Fluor 18, iode 131…

## L'HÉRITAGE DU PASSÉ

### ESSAIS NUCLÉAIRES ATMOSPHÉRIQUES

Depuis la découverte de la radioactivité, son utilisation a évolué avec le développement de ses applications, civiles comme militaires. Lors de la guerre froide, de nombreux essais nucléaires atmosphériques ont projeté à haute altitude de nombreux éléments radioactifs issus des réactions lors des explosions.



Césium 137, strontium 90, plutonium 239 et plutonium 240 encore visibles aujourd'hui

### ACCIDENTS

Les accidents nucléaires majeurs, comme ceux de Tchernobyl et Fukushima, ont également dispersé sur des zones plus ou moins étendues les éléments radioactifs présents dans les installations au moment de l'événement. N'étant plus confinés, ceux-ci vont alors occasionner une pollution radioactive.



Césium 137 encore visible en France

### POLLUTIONS HISTORIQUES

Enfin, les industries ayant fait usage ou produit des substances radioactives (horlogerie, productions d'objets au radium…) ont également pu, notamment dans la première moitié du XX$^{e}$ siècle, entraîner des pollutions sur leurs sites ou à proximité, encore visibles aujourd'hui.



Radium encore présent de nos jours

2.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar
Photos : Gérard Bouchez/Médiathèque IRSN, Scott Kelly/NASA, David Claval/Médiathèque IRSN, Jacques-Antoine Maisonobe/AP-HP, United States Department of Energy, Tim Porter, Noak/Le bar Floréal/ Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ AUTOUR DE NOUS

# LA RADIOACTIVITÉ DANS L'AIR

**Notre atmosphère est traversée par des rayonnements naturels venant du sol et de l'espace. On y trouve également des éléments radioactifs artificiels issus des activités humaines.**

## LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE DANS L'AIR

Nous recevons en permanence des rayonnements cosmiques en provenance des confins de l'univers. Des dizaines de milliers de particules frappent chaque mètre carré de la Terre, chaque seconde.

De plus, au contact de notre atmosphère, ces particules cosmiques sont responsables de la formation d'éléments radioactifs comme le tritium, le béryllium 7 ou le carbone 14.

**PLUS ON MONTE EN ALTITUDE, PLUS LA PROTECTION CONTRE LES RAYONNEMENTS COSMIQUES DIMINUE**

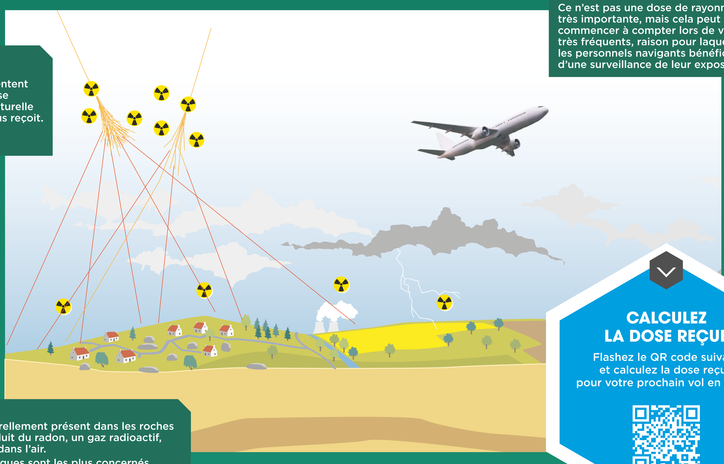
Lorsque l'on prend l'avion, on est donc plus exposé aux rayonnements venant de l'espace. Un vol Paris/New-York correspond à peu près à la dose de radioactivité reçue lors d'une radiographie panoramique dentaire.

Ce n'est pas une dose de rayonnement très importante, mais cela peut commencer à compter lors de voyages très fréquents, raison pour laquelle les personnels navigants bénéficient d'une surveillance de leur exposition.

**DOSE COSMIQUE**

Les rayonnements cosmiques représentent 15 à 20 % de la dose de radioactivité naturelle que chacun de nous reçoit.

Cela représente 0,3 à 0,5 mSv/an.



**LE RADON**

L'uranium naturellement présent dans les roches en France produit du radon, un gaz radioactif, qui s'échappe dans l'air.

Les sols granitiques sont les plus concernés, comme en Bretagne et dans le Limousin.

**CALCULEZ LA DOSE REÇUE**

Flashez le QR code suivant et calculez la dose reçue pour votre prochain vol en avion.

## LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE DANS L'AIR

Entre 1945 et 1980, plus de 500 essais nucléaires ont été réalisés dans l'atmosphère. Les éléments radioactifs émis passent alors de quelques heures à quelques mois dans l'atmosphère avant de retomber au sol.

Par ailleurs, les installations nucléaires rejettent dans l'air des éléments radioactifs tels que le tritium, le carbone 14 ou l'iode 131.

**Les doses dues aux essais nucléaires atmosphériques**

C'est en 1963 que les concentrations des éléments radioactifs dans l'air ont été les plus élevées, entraînant les dépôts radioactifs les plus importants, ainsi qu'une contamination conséquente de la chaîne alimentaire, notamment par le césium 137 et le strontium 90.

En France, la dose moyenne reçue par la population cette année-là fut du même ordre de grandeur que celle de l'année 1986, due aux retombées de Tchernobyl, soit 0,3 mSv.



## LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'AIR

Les rejets gazeux liés aux installations nucléaires sont mesurés par les exploitants et contrôlés par l'ASN en regard des valeurs fixées par la réglementation. L'impact des rejets gazeux sur l'environnement est surveillé par les exploitants et par l'IRSN.

Plusieurs dispositifs permettent de surveiller la radioactivité dans l'air : outre le réseau de sondes Téléray, qui mesure la radioactivité ambiante, le réseau des 50 stations OPERA-Air de l'IRSN prélève de l'air sur des filtres et permet ainsi de mesurer la radioactivité des particules en suspension.

Il permet de détecter d'infimes traces de radioactivité, de quelques dizaines de nBq/m³ d'air, soit quelques désintégrations dans plus de 100 000 000 m³ d'air !

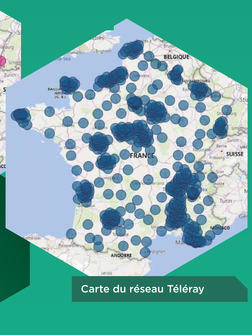
D'autres éléments radioactifs peuvent être présents sous la forme de gaz, comme le tritium ou le carbone 14. On utilise alors des systèmes spécifiques appelés « barboteurs » ou « piégeurs passifs ».
Les stations OPERA-Air sont pour la plupart équipées de dispositifs de prélèvement de l'iode sous forme gazeuse sur des « charbons actifs », qui seraient utilisés en cas d'accident nucléaire par exemple.

**DES MESURES EN CONTINU**

Des mesures du rayonnement ambiant dans l'air sont effectuées en continu à l'aide de balises automatiques. Plus de 400 balises Téléray de l'IRSN effectuent des dizaines de millions de mesures par an dans l'air.




Carte du réseau OPERA-Air




Carte du réseau Téléray

2.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative – Photos/cartes : IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**LA RADIOACTIVITÉ** AUTOUR DE NOUS

# LA RADIOACTIVITÉ DANS LES SOLS

**Dès l'origine de la Terre, les sols étaient naturellement riches en éléments radioactifs. Depuis le XXe siècle, l'Homme y a apporté une part de radioactivité artificielle.**

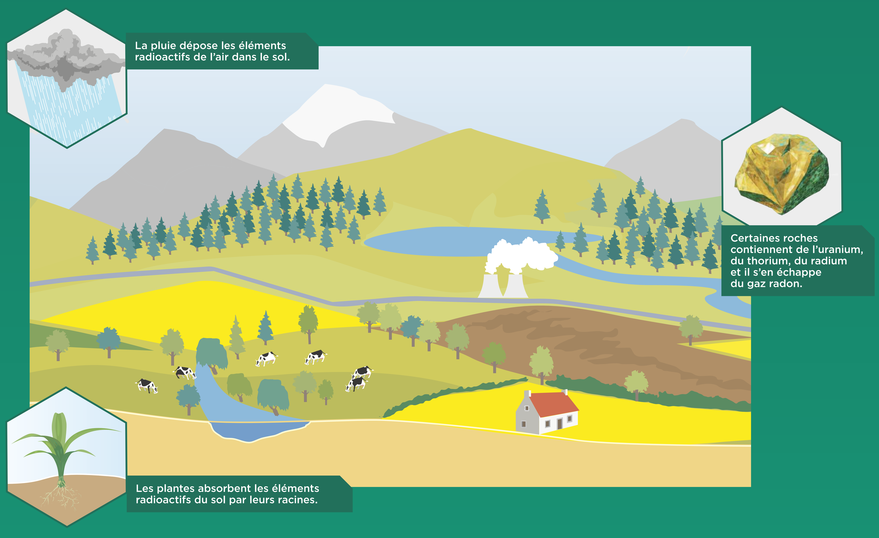
## LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE DANS LES SOLS

De nombreux éléments radioactifs comme le potassium, l'uranium, le radium et le thorium sont présents dans l'écorce terrestre. Leur concentration varie selon la nature du sol. La radioactivité est ainsi 5 à 20 fois plus élevée dans les sols des massifs granitiques que dans les autres terrains.

## LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE DANS LES SOLS

En fonctionnement normal, les installations nucléaires rejettent dans l'air des éléments radioactifs en quantités très faibles. Ceux-ci se déposent sur les sols et les végétaux et s'y intègrent.

Les éléments radioactifs artificiels présents aujourd'hui dans les sols en France métropolitaine proviennent quasi exclusivement des retombées des essais nucléaires atmosphériques ayant eu lieu dans l'hémisphère nord et de l'accident de Tchernobyl.




## LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES SOLS

La surveillance de la radioactivité dans le milieu terrestre repose essentiellement sur des prélèvements. Pour mesurer les éléments radioactifs qui se sont déposés récemment, on prélève le sol en surface. Pour déterminer la façon dont ils ont migré au fil du temps, on réalise des carottages. Ils fournissent des éléments quant à l'histoire du sol, en remontant à des dizaines d'années en arrière selon la profondeur du prélèvement.

D'autres moyens permettent de réaliser une mesure directe des rayonnements gamma émis par le sol, sans prélèvement préalable : on parle alors de spectrométrie gamma *in situ*. Bien que moins performante qu'une analyse en laboratoire, elle peut fournir rapidement de précieuses informations quant aux éléments radioactifs présents.


Exemple de carotte de sol.


Mesure en spectrométrie gamma *in situ* à proximité de la centrale nucléaire de Saint-Alban.

**Les végétaux qui poussent dans le sol**

sont également de précieux indicateurs, car ils y puisent les éléments nécessaires à leur croissance.

Les légumes racinaires tels que la pomme de terre, la betterave ou encore l'oignon vont ainsi capter les éléments radioactifs, naturels comme artificiels, présents dans le sol.

Leur analyse permettra de disposer d'informations sur le sol cultivé.

2.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative, B2 infographie – Photos : Maxime Morin/IRSN, Martial Chevreuil/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ AUTOUR DE NOUS

# LA RADIOACTIVITÉ DANS L'EAU

**L'eau** contient des éléments radioactifs d'origine tellurique, mais également présents dans l'atmosphère. Elle est aussi le reflet des activités humaines mettant en jeu de la radioactivité.

## LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE DANS L'EAU

L'eau contient naturellement des éléments radioactifs dont une partie provient des terrains qu'elle traverse. Ces éléments vont donc se retrouver dans les nappes phréatiques et les rivières.

Les eaux minérales puisées dans des terrains granitiques peuvent contenir du potassium 40, du radon ou de l'uranium dissous et sont ainsi naturellement plus radioactives que les eaux de surface.

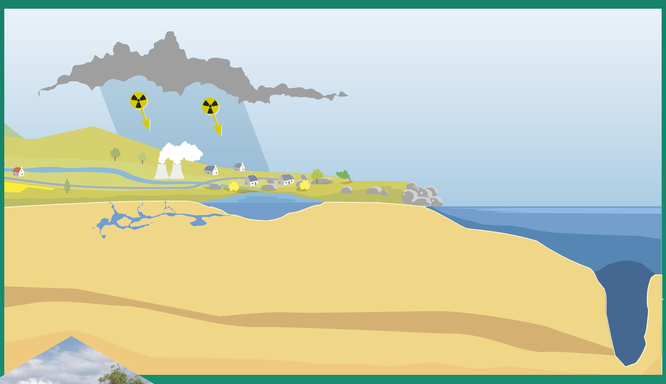
L'eau de mer est également naturellement radioactive : elle contient notamment du tritium et du polonium que l'on retrouve en particulier les poissons, coquillages ou crustacés.

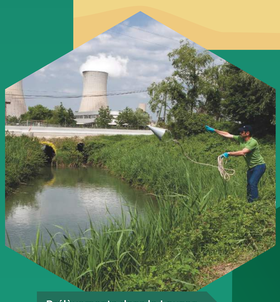
## LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE DANS L'EAU

En fonctionnement normal, les centrales nucléaires rejettent des éléments radioactifs sous forme liquide qui peuvent se retrouver dans les rivières et la mer puis dans des organismes vivants aquatiques.

Les eaux contiennent également des éléments radioactifs provenant des retombées des essais nucléaires et de l'accident de Tchernobyl.

L'activité totale de l'eau de mer due aux éléments radioactifs qui s'y trouvent est d'environ 14 Bq/L. Elle est due à 90 % au potassium 40 présent naturellement dans l'eau. Ces éléments radioactifs peuvent se concentrer dans les produits de la mer.





Prélèvements dans le Lauzon, au sud du site du Tricastin.

## LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS L'EAU

Les rejets liés aux installations nucléaires sont soumis comme les rejets gazeux à des valeurs seuils fixées par l'ASN. Leur impact sur l'environnement est également mesuré et surveillé par les exploitants et par l'IRSN.

Outre le système Hydrotéléray, qui mesure la radioactivité des fleuves, des hydrocollecteurs prélèvent à haute fréquence de l'eau en aval des sites nucléaires et dans les canaux de rejet des centrales nucléaires en façade maritime afin de déterminer plus finement les radionucléides présents.

Les équipements de l'IRSN sont aussi dotés de bacs de décantation des matières en suspension dans l'eau, qui permettent d'analyser les radionucléides présents dans ces particules transportées par le courant.

Des prélèvements manuels d'eau et de sédiments dans le lit des cours d'eau sont réalisés. Ces derniers, qui résultent du dépôt progressif des matières, sont donc représentatifs de la radioactivité accumulée au fil du temps.

La faune et la flore aquatique font également l'objet d'une surveillance. Poissons, mollusques, algues ou encore végétaux intègrent de la radioactivité, naturelle ou artificielle, tout au long de leur vie. Le prélèvement et la mesure d'échantillons permettent donc de disposer d'informations précieuses, non seulement vis-à-vis des différentes étapes de la chaîne alimentaire, mais plus généralement des éléments radioactifs présents.

### DES MESURES EN CONTINU

Des mesures du rayonnement ambiant dans les fleuves sont effectuées en continu à l'aide de balises automatiques.

Sept stations Hydrotéléray sont dévolues à la surveillance continue des fleuves en aval des installations nucléaires.



Hydrocollecteur

## EN DÉBAT
## L'IMMERSION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

**Depuis 1946, de nombreux pays ont rejeté leurs déchets dans les océans. En Europe, le Royaume-Uni et la Belgique les ont immergés dans la fosse des Casquets au nord-ouest du Cap de La Hague, et la France au grand large de la Galice et de la Bretagne.**

**L'immersion des déchets radioactifs dans les fonds marins avait été considérée comme sûre par la communauté scientifique. La dilution et la durée présumée d'isolement apportées par le milieu marin semblaient suffisantes.**

**L'immersion de déchets en mer est désormais interdite par le protocole de Londres signé en 1996 et ratifié en 2006 par 30 pays, dont la France.**

**La France a arrêté d'immerger ses déchets après 1969. Elle a construit des centres de stockage et d'entreposage sur terre.**

2.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative – Photos : Noak/Le bar Floréal/ Médiathèque IRSN, Arnaud Bouissou/MEDDE/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ AUTOUR DE NOUS

# DE L'ENVIRONNEMENT À L'ASSIETTE

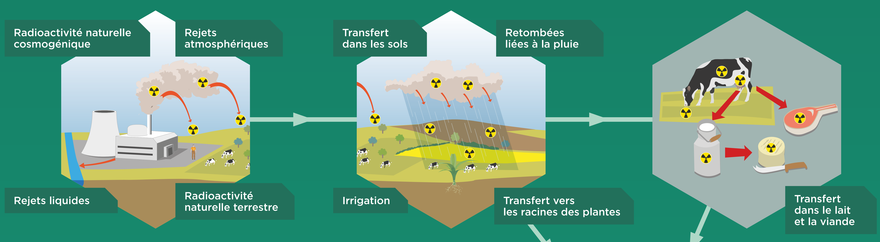
**Les animaux et les plantes puisent leurs ressources dans l'air, l'eau et le sol. Les éléments radioactifs se retrouvent ainsi tout au long de la chaîne alimentaire.**

## LA RADIOACTIVITÉ NATURELLE DANS LES ALIMENTS

Tous les aliments sont naturellement radioactifs car ils contiennent de nombreux radionucléides, dont le potassium 40, le carbone 14 ou le polonium 210. Un kilogramme de pommes de terre contient par exemple environ 130 Bq de potassium 40.

L'eau, qui contient naturellement du tritium ou des traces d'uranium, est également radioactive.

**LA DOSE MOYENNE LIÉE L'ALIMENTATION**
est estimée à 0,55 mSv/an.




## LA RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE DANS LES ALIMENTS

Les rejets des installations nucléaires en fonctionnement normal sont extrêmement faibles. Les éléments radioactifs qui en sont issus sont susceptibles d'être transférés aux plantes, et donc aux animaux et aux humains.

## LA SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITÉ DANS LES ALIMENTS

La surveillance radiologique est adaptée aux rejets des installations nucléaires, mais prend également en compte les productions alimentaires locales et leur saisonnalité.

Le programme de surveillance réglementaire prévoit l'analyse de la radioactivité dans des denrées représentatives de la production locale autour des installations.

Au niveau national, différents organismes participent à la surveillance de la radioactivité dans l'alimentation : la Direction générale de l'alimentation (DGAL), la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) et l'IRSN, avec une convention nationale commune entre ces trois acteurs.



**L'EAU POTABLE RÉGLEMENTÉE**

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) estime que la dose totale indicative par habitant liée à l'eau de consommation ne doit pas dépasser 0,1 mSv/an, à raison d'une consommation de 2 litres par jour.

Plusieurs critères de qualité de l'eau et limites sont ainsi fixés. Une eau destinée à la consommation humaine ne doit par exemple pas contenir plus de 10 000 Bq/L de tritium.

Une étude de l'IRSN a dressé en 2013 un état des lieux complet de la qualité radiologique des eaux en bouteilles produites dans l'Hexagone. Sur les 75 eaux de sources et 67 eaux minérales analysées, 6 dépassaient le seuil recommandé de 0,1 mSv/an pour la dose totale indicative (DTI).



**Bilan qualité radiologique**

Parcourez le bilan qualité radiologique des eaux minérales commercialisées en France en flashant le QR Code suivant.

2.6 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois – Photos : Arnaud Bouissou/MEDDE/Médiathèque IRSN, rawpixel.com/Freepik
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

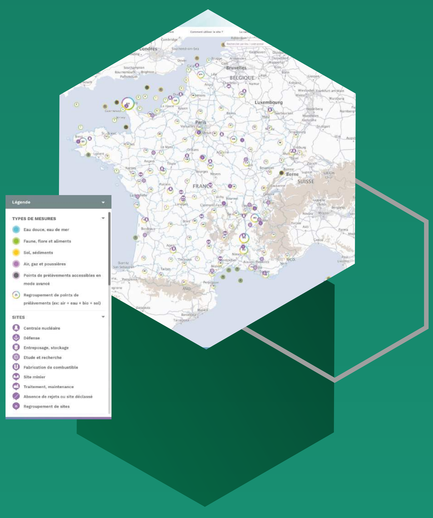
asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LA RADIOACTIVITÉ AUTOUR DE NOUS

# CONNAÎTRE LA RADIOACTIVITÉ AUTOUR DE MOI

**De nombreux acteurs réalisent des mesures de radioactivité dans l'environnement français : exploitants d'installations nucléaires, services de l'État, IRSN ou encore associations. Afin de diffuser auprès du public l'ensemble de ces mesures en toute transparence, l'ASN a mis en place le Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement (RNM), qui centralise l'ensemble de ces données, s'assure de leur qualité et de leur harmonisation et les restitue via une interface Internet.**




## QUELLES MESURES ?

Les exploitants nucléaires ont l'obligation de transmettre et ainsi mettre à disposition du public tous les résultats de la surveillance réglementaire de l'environnement qu'ils réalisent autour de leurs installations.

L'IRSN transmet également tous les résultats obtenus dans le cadre de sa surveillance radiologique nationale.

D'une manière générale, tout producteur de données peut transmettre les résultats de ses analyses de radioactivité environnementales au RNM s'il dispose d'un agrément de l'ASN.

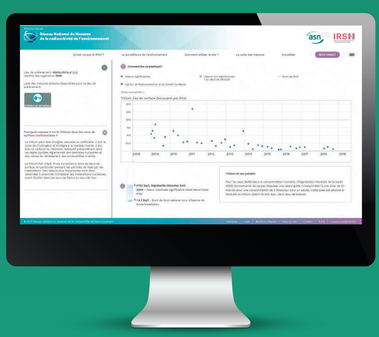
## LES MESURES SONT-ELLES FIABLES ?

Une procédure d'agrément par l'ASN, qui prévoit notamment le respect de normes internationales et la participation à des comparaisons entre laboratoires organisées par l'IRSN, et s'appuie également sur des inspections dans les laboratoires, permet de s'assurer que les données transmises au RNM respectent un standard en matière de qualité.

## COMMENT ACCÉDER AUX DONNÉES ?

Toutes les données sont mises en ligne sur le site **www.mesure-radioactivite.fr.**

Comprendre la radioactivité n'est pas toujours simple au premier abord. Les données sont donc accompagnées de repères graphiques et d'explications afin de contextualiser et d'enrichir les résultats de mesure, facilitant ainsi leur interprétation et leur compréhension.




## LA RADIOACTIVITÉ PRÈS DE CHEZ MOI

Depuis 2010, le site **www.mesure-radioactivite.fr** rend accessible à tous, en toute transparence, les 300 000 mesures réalisées annuellement en France dans les différents milieux (air, eau, sols, faune et flore) et dans les produits alimentaires.

Vous pouvez consulter les données statistiques sur un département ou autour d'un site nucléaire : nombre, type de prélèvements et de mesures (air, eau, denrées…), acteurs de la surveillance locale. Tous les résultats sont projetés sur une carte avec la possibilité de se géolocaliser.

Un mode expert permet d'accéder à de nombreux filtres et ainsi d'obtenir facilement l'information souhaitée par une sélection multi-critères.

2.7 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : www.mesure-radioactivite.fr, Freepik
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# LE RADON DANS NOS MAISONS





3.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : tifo/IStock, paulprescott72/IStock
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE RADON
DANS NOS MAISONS

# RADIOACTIVITÉ NATURELLE : L'EXEMPLE DU RADON

**L'uranium est présent dans tous les sols et plus particulièrement dans les roches granitiques et volcaniques de certaines régions en France. Cet uranium se transforme en une succession d'éléments radioactifs dont, le radon, un gaz qui peut migrer vers la surface du sol. Le radon est potentiellement dangereux pour la santé s'il s'accumule dans les lieux de vie.**



## DU RADON DANS MA MAISON ?

L'exposition des habitants diffère d'une maison à l'autre : **le radon pénètre par différentes voies** (fissures, passages de canalisations…) et **s'accumule dans des endroits confinés** comme les caves, les sous-sols ou encore les pièces d'habitation insuffisamment ventilées.

Il peut aussi se dissoudre dans les eaux des nappes phréatiques et se trouver dans l'eau du robinet et les eaux thermales.

Enfin, **le radon se transforme par désintégration en d'autres éléments radioactifs, notamment en polonium.**

## CARTE D'IDENTITÉ DU RADON

Le radon est inodore, incolore et radioactif.

Il se désintègre en émettant des particules alpha et des descendants solides (polonium, plomb, bismuth) eux aussi radioactifs.

Son isotope le plus fréquent et le plus stable, le radon 222 a une demi-vie de 3,8 jours.

## QUEL DANGER REPRÉSENTE LE RADON ?

Le radon peut être dangereux pour la santé s'il s'accumule dans les lieux de vie.

On estime que c'est la deuxième cause de cancer du poumon en France. Il est particulièrement présent dans les régions granitiques et volcaniques.

## L'APPLICATION RADON ET RADIOACTIVITÉ

**Estimez votre niveau d'exposition individuel à la radioactivité d'origine naturelle en quelques clics et calculez le potentiel radon de votre commune en installant l'application sur votre smartphone.**

3.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

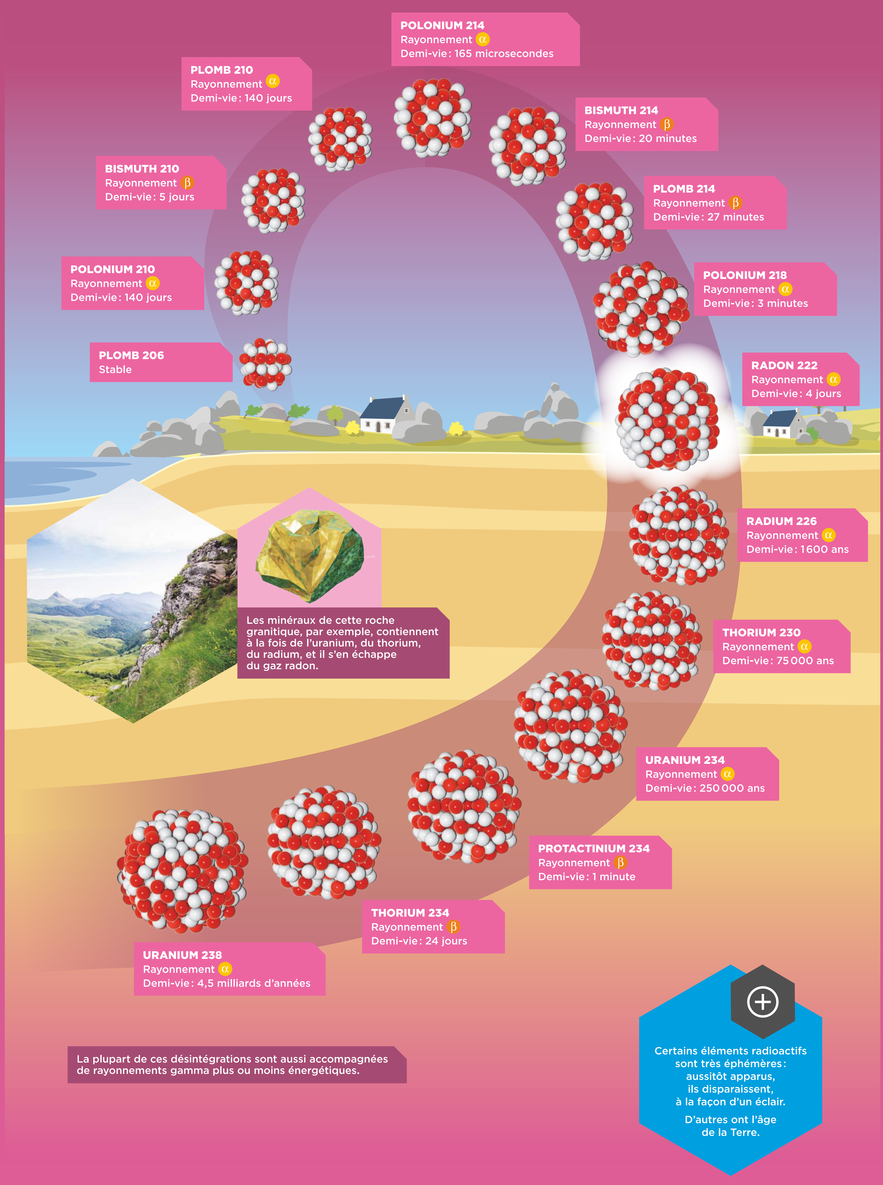
IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE RADON
DANS NOS MAISONS

# QUELLE EST L'ORIGINE DU RADON ?

Un élément radioactif, comme l'uranium, peut se transformer en un autre élément radioactif qui va se transformer à son tour, et ainsi de suite. On appelle cela une **chaîne de désintégration.** Le radon est issu de la chaîne de désintégration de l'uranium 238.

## LA CHAÎNE DE DÉSINTÉGRATION DE L'URANIUM




3.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois, B2 infographie – Photo : Julien Boyer-Malzac/Adobe Stock
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE RADON
DANS NOS MAISONS

# LE RADON EN FRANCE

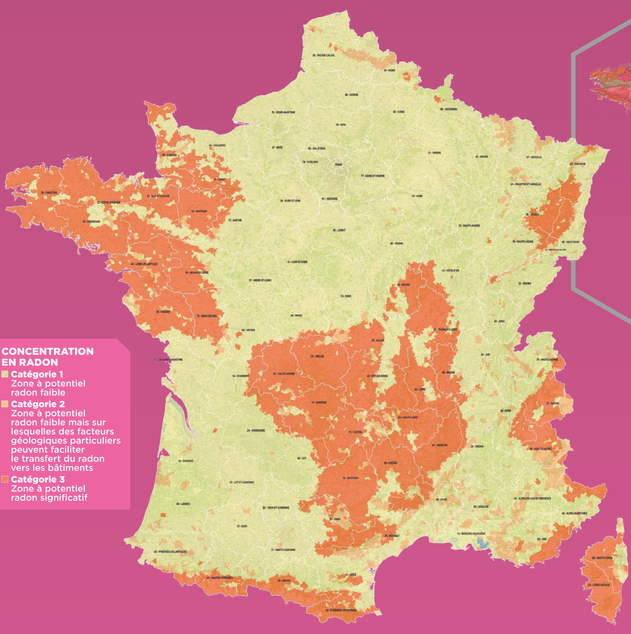
**La carte du potentiel radon montre la concentration potentielle du radon dans les bâtiments pour chaque commune française. Elle s'explique par la nature géologique du sol.**

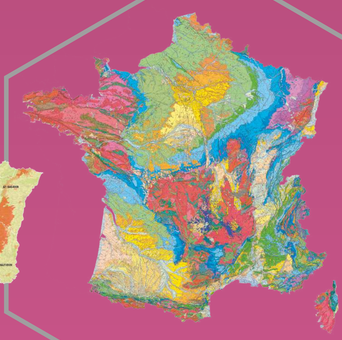
## UNE GRANDE VARIABILITÉ SUR LE TERRITOIRE

La géologie de la France est très contrastée. Les roches, par leur nature diverse, sont à l'origine d'une grande variabilité des niveaux de concentration en radon.

De plus, dans une même zone, selon la structure des sols, l'architecture des habitations ou encore la saison, la concentration en radon de l'air peut être très variable : de **10 à plus de 10 000 becquerels par m³ d'air.**

Carte de France géologique :
les zones rouges représentent les sols granitiques





**CONCENTRATION EN RADON**

- **Catégorie 1**
  Zone à potentiel radon faible
- **Catégorie 2**
  Zone à potentiel radon faible mais sur lesquelles des facteurs géologiques particuliers peuvent faciliter le transfert du radon vers les bâtiments
- **Catégorie 3**
  Zone à potentiel radon significatif

Ces deux cartes montrent le rapport entre la **nature du sol** et la **présence potentielle de radon** dans l'habitat.

Il y a plus de risque de présence de radon là où il y a du granite qui est une roche riche en uranium.

## UNE CARTOGRAPHIE À L'ÉCHELLE DE LA COMMUNE

Réalisée par l'IRSN, elle permet d'identifier les communes dans lesquelles la présence de radon à des concentrations élevées dans les bâtiments est la plus probable, afin de mieux gérer le risque pour le public et les travailleurs.

### QUE DIT LA LOI ?

Informez-vous sur l'arrêté du 22 juillet 2004 sur http://www.legifrance.gouv.fr

### DU RADON DANS VOS MAISONS ?

**Découvrez-le en flashant le QR Code suivant ou sur http://www.irsn.fr/carte-radon**

3.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Cartes : IRSN, BRGM
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE RADON
DANS NOS MAISONS

# DU RADON DANS MA MAISON ? QUE FAIRE ?

**Des actions de protection efficaces existent pour abaisser la concentration en radon dans l'air intérieur.**

## AÉRER / VENTILER

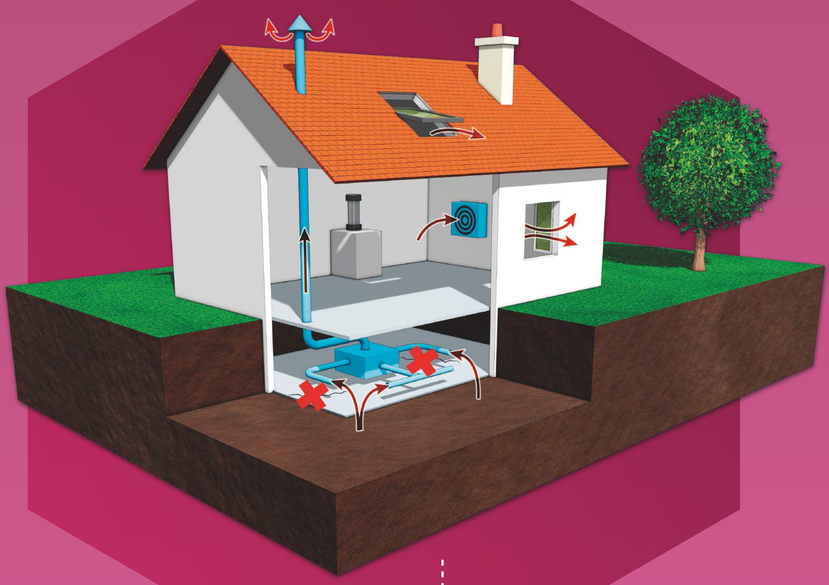
On peut réduire la concentration en radon en ayant une bonne pratique d'aération et en améliorant la ventilation dans son habitation.

## DÉPISTER

Pour se protéger du radon, la première chose à faire c'est d'en mesurer la présence dans son logement. On mesure la présence de radon à l'aide d'un détecteur. Les rayonnements émis laissent des traces mesurables dans le détecteur.

Pour ce dépistage, il est recommandé de disposer ces détecteurs dans les principales pièces de vie pendant une durée minimum de deux mois en période hivernale.

Des appareils peuvent permettre un diagnostic plus précis et guider la recherche des voies d'entrée et de passage du radon.



## COLMATER / DRAINER

En plus d'évacuer le radon, il faut limiter sa pénétration dans le bâtiment en améliorant par exemple l'étanchéité des planchers (colmatage des fissures et des passages de canalisations) ou détourner les flux de radon en installant un système d'extraction d'air (vers l'extérieur).

## DU NEUF SANS RADON

Afin de vous prémunir du radon, il peut être judicieux de réfléchir dès les **premiers plans de construction,** à la mise en œuvre d'installations pouvant limiter sa pénétration (vide sanitaire, membranes géotextiles, système de mise en dépression du sol…) et favoriser un renouvellement d'air adéquat (ventilation…).

## À QUI S'ADRESSER POUR SE PROCURER UN DÉTECTEUR ?

- **ALGADE**
  1, avenue de Brugeaud
  87250 Bessines-sur-Gartempe
  Tél. : 05 55 60 50 00
  algade@algade.com
  www.algade.com/2017/08/04/radon/

- **SANTÉ-RADON - PE@RL**
  20, rue Atlantis
  87068 Limoges Cedex France
  Tél. : 05 55 43 69 95
  contact@sante-radon.com
  www.sante-radon.com

- **EUROFINS**
  Campus de Ker Lann – Parc de Lormandière
  35170 Bruz
  Tél. : 02 23 50 13 80
  nucleaire@eurofins.com
  www.eurofins.fr/nucleaire/

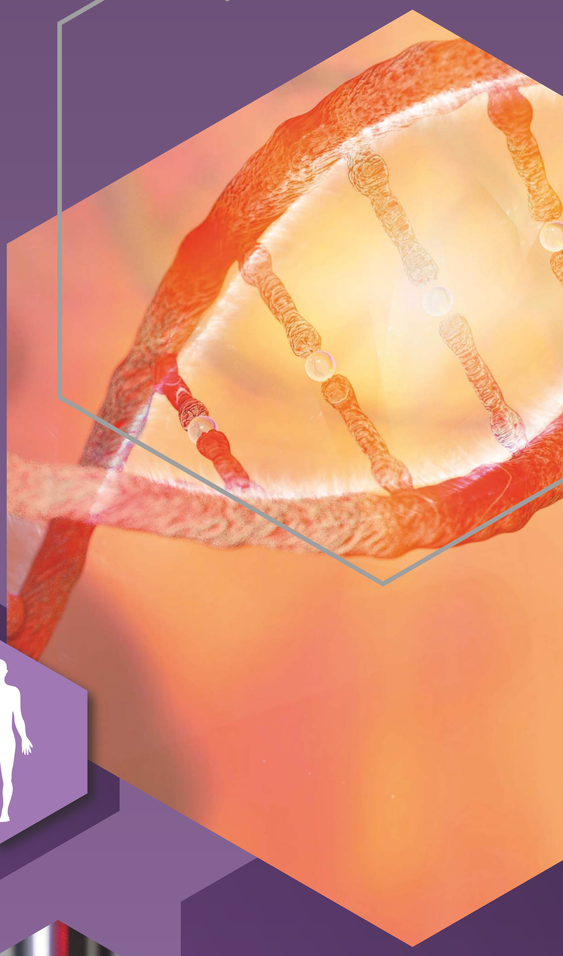
- **RADONOVA**
  82 rue du Guéméné
  56770 Plouray
  Tél. : 07 55 53 91 81
  www.radonova.fr

3.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# LES EFFETS DE LA RADIOACTIVITÉ SUR LE CORPS





4.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr — Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : CIPhotos/IStock, Francesco Acerbis/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES EFFETS DE LA RADIOACTIVITÉ SUR LE CORPS

# LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RADIATIONS

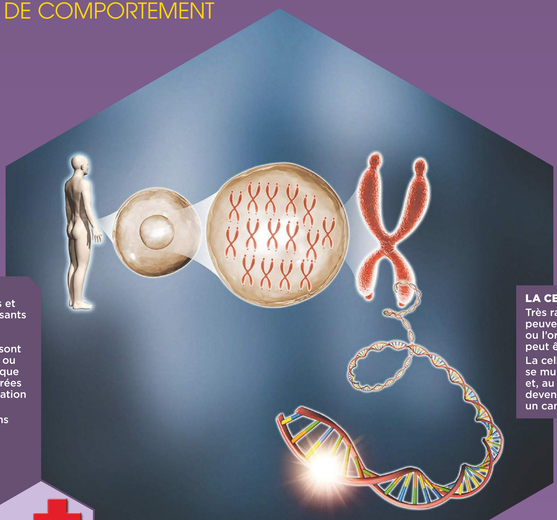
**Les radiations endommagent l'ADN** de nos cellules. Heureusement, les cellules possèdent des mécanismes de réparation efficaces. Néanmoins, des dommages peuvent subsister et provoquer toutes sortes de dysfonctionnements, notamment des cancers.

## CELLULE IRRADIÉE

L'exposition aux rayonnements peut endommager l'ADN :

- **directement :** une particule alpha ou bêta casse la molécule d'ADN ;
- **indirectement :** un rayonnement X ou gamma provoque des réactions chimiques qui vont conduire à la détérioration de l'ADN.

## ABÎMÉES, LES CELLULES ONT 3 MODES DE COMPORTEMENT



**LA CELLULE SE RÉPARE**

Nos systèmes immunitaires et enzymatiques sont de puissants mécanismes de réparation. Selon l'importance du dommage, les réparations sont faites en quelques minutes ou en plusieurs jours. Il arrive que les cellules soient mal réparées si les mécanismes de réparation sont faibles ou surchargés.

Une forte dose de radiations reçue en une fois est donc bien plus risquée que si elle est étalée dans le temps, laissant aux mécanismes de réparation le temps de jouer leur rôle.

**LA CELLULE MUTE**

Très rarement, les cellules peuvent être mal réparées ou l'ordre d'autodestruction peut être empêché.

La cellule va alors se multiplier anormalement et, au fil du temps, devenir une tumeur, un cancer.

**LA CELLULE SE DÉTRUIT**

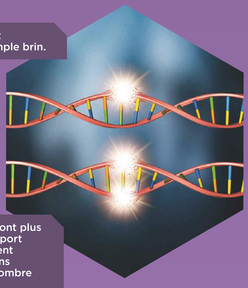
Les cellules ont un mécanisme d'autodestruction naturelle qu'elles mettent en œuvre lorsqu'elles sont abîmées ou trop vieilles.

En cas d'irradiation très importante, de très nombreuses cellules peuvent être éliminées. En cas de dose très importante, cela peut entraîner des dysfonctionnements des organes, des maladies graves ou même être fatal.

## DÉGÂT SIMPLE OU DOUBLE ?

Dans notre corps, chaque cellule subit chaque jour de multiples agressions qui cassent l'ADN.

Les cellules réparent assez facilement les cassures simple brin.



Les cassures double brin sont plus difficiles à réparer. Par rapport aux lésions qui se produisent naturellement, les radiations augmentent bien plus le nombre des cassures double brin.

Les radiations peuvent casser **un seul brin** de la chaîne ADN **ou les deux brins** au même endroit.

4.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

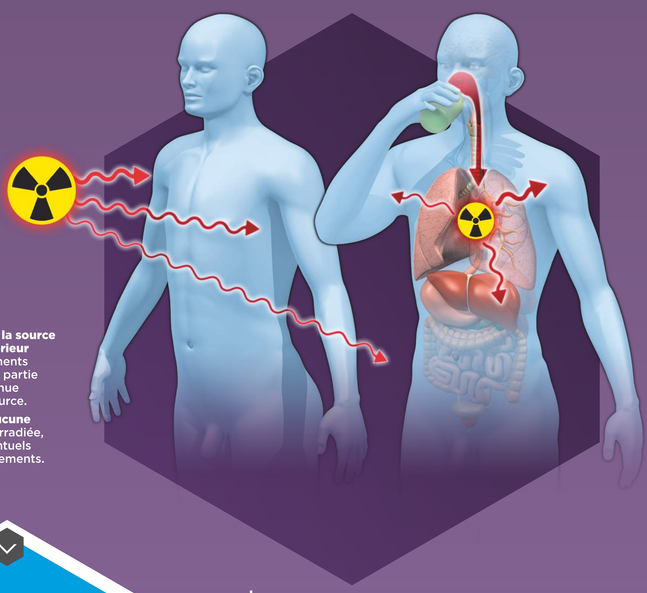
LES EFFETS DE LA RADIOACTIVITÉ SUR LE CORPS

# IRRADIATION OU CONTAMINATION ?

Un être humain peut être irradié ou contaminé par une source radioactive.

Il est **irradié** s'il est « atteint » depuis l'extérieur par les rayonnements issus de la source.

Il est **contaminé** si des particules radioactives se déposent sur lui ou bien si elles sont ingérées ou inhalées.



## L'IRRADIATION

On parle d'irradiation lorsque **la source radioactive est située à l'extérieur du corps** et que ces rayonnements traversent l'organisme ou une partie de celui-ci. L'irradiation s'atténue lorsque l'on s'éloigne de la source.

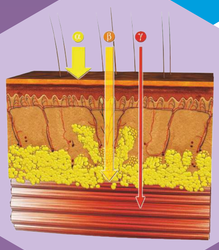
**La personne ne transporte aucune radioactivité** après avoir été irradiée, elle subit uniquement les éventuels effets produits par les rayonnements.

## LA PÉNÉTRATION DES RAYONNEMENTS

Le rayonnement **alpha** (α) ne pénètre pas plus profondément que les premières cellules de la couche supérieure de la peau.

Le rayonnement **bêta** (β) est plus pénétrant et peut atteindre les couches internes et provoquer des brûlures.

Les rayons **gamma** (γ) pénètrent au-delà des couches de la peau, à l'intérieur du corps.




## LA CONTAMINATION

### EXTERNE

Lorsque les particules radioactives sont déposées sur la peau ou sur les vêtements sans pénétrer dans le corps, on parle de contamination externe.

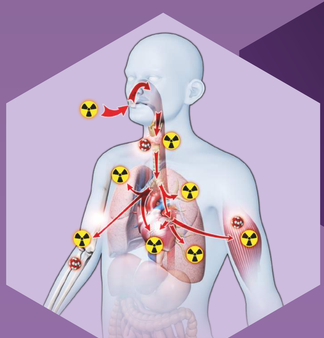
**Celle-ci peut être éliminée** en déshabillant et en lavant les personnes exposées.

### INTERNE

On parle de contamination interne lorsque des éléments radioactifs pénètrent à l'intérieur du corps par inhalation, ingestion ou encore par blessure avec des objets contaminés.

**Le corps ne fixe pas définitivement la plupart des particules radioactives.** Selon leur nature, le temps de leur passage dans le corps est plus ou moins long.

**Ce n'est pas parce que la personne a été contaminée en interne ou irradiée qu'elle présente un risque pour ses proches.**



**EN CONTAMINATION INTERNE**
Selon leur nature chimique, les éléments radioactifs se fixent dans des organes différents.

4.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES EFFETS DE LA RADIOACTIVITÉ SUR LE CORPS

# LES SEUILS DE DANGER

**La radioactivité peut présenter des dangers, mais tout dépend de la dose reçue. Dans certains cas, elle est même utilisée pour soigner.**

## EFFETS SYSTÉMATIQUES

À la suite d'une irradiation intense, des cellules peuvent être détruites en grand nombre. Les tissus ou les organes sont alors endommagés.

Ces effets s'expriment immédiatement ou après quelques jours, de façon certaine et sur toute personne exposée. **Leur gravité s'accentue lorsque la dose absorbée augmente.**

## EFFETS ALÉATOIRES

L'irradiation peut endommager l'ADN et provoquer, ou non, des effets ultérieurs. Les radiations peuvent augmenter les probabilités d'apparition de cancer et, pour des doses importantes, avoir des effets immédiats, comme des nausées.

**C'est au bout d'un certain temps que les conséquences peuvent apparaître et seulement sur certaines personnes :** quelques années pour les leucémies et les cancers de la thyroïde de l'enfant, 20 à 40 ans pour d'autres cancers.

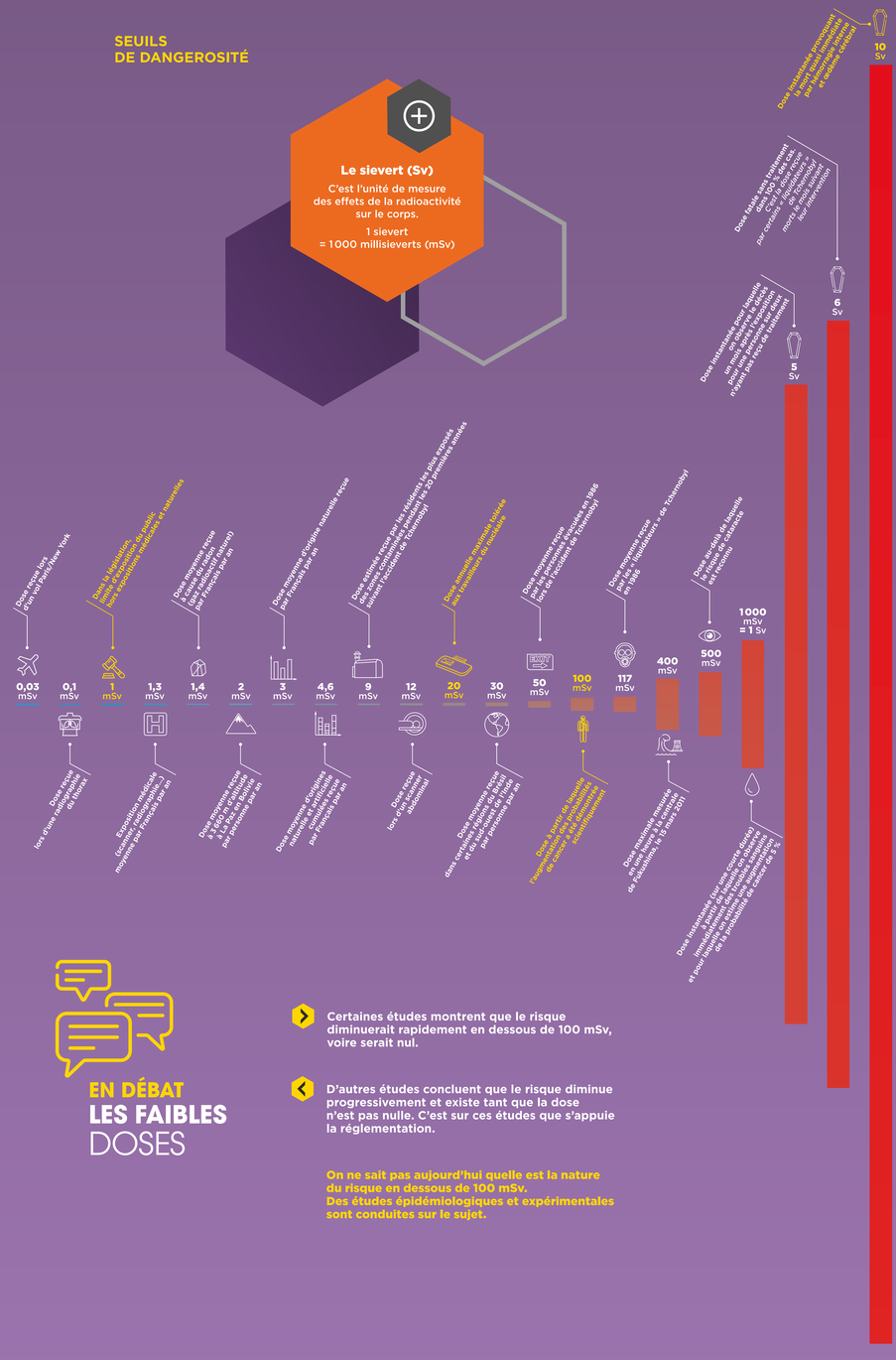
Les cancers pouvant trouver leur origine dans différentes causes, parfois associées, il est très difficile d'imputer de façon sûre un cancer à une irradiation.

## SEUILS DE DANGEROSITÉ

**Le sievert (Sv)**

C'est l'unité de mesure des effets de la radioactivité sur le corps.

1 sievert = 1 000 millisieverts (mSv)


Dose reçue lors d'un vol Paris/New York
0,03 mSv
Dose reçue lors d'une radiographie du thorax
0,1 mSv
Dose reçue lors de la mammographie de dépistage
1 mSv
Exposition médicale moyenne d'origine naturelle par an
1,3 mSv
Dose moyenne reçue par un Français par an (origine naturelle)
1,4 mSv
Dose moyenne reçue à 1 500 m d'altitude par personne par an
2 mSv
Dose moyenne d'origine naturelle reçue par un Français par an
3 mSv
Dose moyenne d'origines naturelle et artificielle reçue par un Français par an
4,6 mSv
Dose autorisée reçue par les salariés les plus exposés dans le cadre professionnel (en moyenne sur les 5 dernières années selon l'accident de Tchernobyl)
9 mSv
Dose reçue lors d'un scanner abdominal
12 mSv
Dose autorisée maximale pour le travailleur du nucléaire
20 mSv
Dose moyenne reçue dans le corps entier lors d'un scanner et limite annuelle de dose pour les personnes du public
30 mSv
Dose moyenne reçue par les personnes vivant près de l'ex-site de Tchernobyl
50 mSv
Dose moyenne reçue par les "liquidateurs" de Tchernobyl
100 mSv
Dose moyenne reçue par les "liquidateurs" de Tchernobyl
117 mSv
Dose reçue par le cristallin en 1 an
400 mSv
Dose reçue par le cristallin en 1 an
500 mSv
1000 mSv = 1 Sv
Dose reçue par la peau en 1 an
Dose reçue par la peau en 1 an
Dose reçue par la peau en 1 an

LES EFFETS DE LA RADIOACTIVITÉ SUR LE CORPS

# TOUS ÉGAUX DEVANT LA RADIOACTIVITÉ ?

**Nous ne sommes pas tous égaux face à la radioactivité et nous y sommes pourtant régulièrement exposés, notamment dans le milieu médical. Les différences génétiques, d'âge, de sexe, expliquent ces variations. Certains contextes, comme la grossesse d'une femme, peuvent obliger à prendre des précautions particulières.**



## CHACUN SA SENSIBILITÉ

Nos gènes sont différents et notre organisme réagit plus ou moins bien aux agressions des radiations. 5 à 15 % de la population serait radiosensible, c'est-à-dire plus fragile face aux radiations. C'est une donnée importante quand il s'agit d'entreprendre une radiothérapie contre un cancer par exemple.

L'ASN, qui est chargée du contrôle de la radioprotection des personnes, reste attentive à l'évolution des connaissances sur ce sujet.



## FEMMES ENCEINTES

Les femmes enceintes peuvent être exposées aux radiations pour diverses raisons : travailleuses exposées, imagerie médicale (en particulier les scanners) et des précautions doivent être prises.

Elles peuvent aussi avoir un cancer et être soignées par radiothérapie.

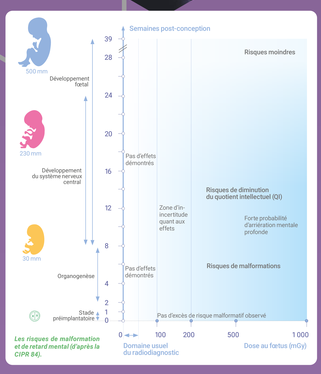
Dans ce cas, un dilemme se pose alors aux médecins et à la famille, car il peut y avoir un risque pour l'enfant à naître.

### *De 0 à 2 mois*

Le développement de l'embryon est tel que les radiations ont un effet « tout ou rien » : l'embryon survit ou pas, mais il n'y a pas de risque de malformation.

### *Pendant la période fœtale (de 2 à 9 mois)*

Le risque de malformation ou de handicap physique ou mental peut devenir réel en fonction de la dose reçue.




*Les risques de malformation et de retard mental (d'après la CIPR 84).*

Les radiothérapeutes se servent de ce tableau pour décider, avec les familles, des choix à faire lorsqu'une femme enceinte doit subir une radiothérapie.

## SEXE ET ÂGE

Les organismes des hommes, des femmes, des enfants et des personnes âgées réagissent différemment face aux rayonnements ionisants.

## S'IL A ÉTÉ CONTAMINÉ,

un homme élimine moins vite une substance radioactive qu'une femme ou qu'un enfant.

Le renouvellement cellulaire est très inégal selon l'âge de l'individu et les tissus concernés : particulièrement rapide pour le fœtus et pour l'enfant, il est moins rapide à l'âge adulte et encore moins pour les personnes âgées. Cela signifie qu'une mutation engendrée par une irradiation sera multipliée plus rapidement chez les plus jeunes.

De plus, certains organes sont particulièrement actifs chez l'enfant, comme la thyroïde qui fournit les hormones de croissance.

## LES ORGANES

Certains organes sont beaucoup plus sensibles que d'autres (gonades, foie, thyroïde…).

4.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : R. Grimaldi/IRSN – Photos : JackF/Adobe Stock, Sergejs Rahunoks/Adobe Stock
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES EFFETS DE LA RADIOACTIVITÉ SUR LE CORPS

# QUELLES DOSES REÇOIVENT LES TRAVAILLEURS ?

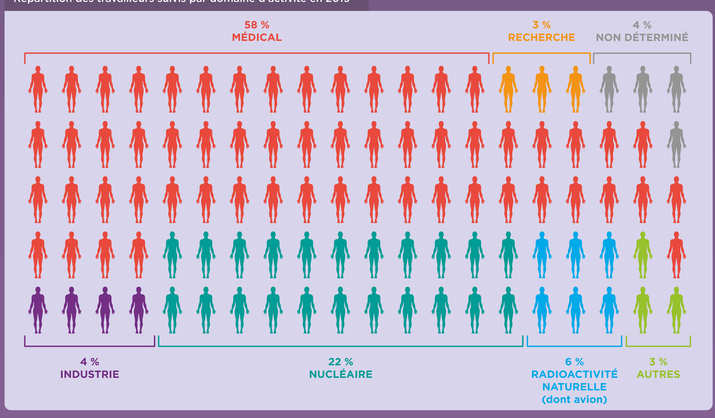
**Les doses reçues par les travailleurs dans les activités civiles et militaires et ceux exposés à la radioactivité naturelle sont suivies puis transmises à l'IRSN qui établit un bilan annuel. L'ASN contrôle la radioprotection des travailleurs.**

## NOMBRE DE TRAVAILLEURS SUIVIS

395 040 travailleurs bénéficiaient d'un suivi dosimétrique en 2019 contre 278 150 en 2006, dont 58 % travaillent dans le domaine médical.

À ce chiffre, il faut ajouter plus de 25 000 travailleurs exposés à la radioactivité naturelle, essentiellement des personnels navigants soumis au rayonnement cosmique.

Répartition des travailleurs suivis par domaine d'activité en 2019

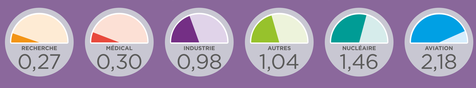



## LA MESURE DE L'IRRADIATION EXTERNE

La personne porte en toutes circonstances un dosimètre passif pour la surveillance individuelle de référence et, dans les zones de travail où le risque est plus important, un dosimètre opérationnel à lecture immédiate qui indique la dose reçue en temps réel et peut déclencher une alarme en cas de dépassement d'un seuil prédéfini.

### DOSE INDIVIDUELLE MOYENNE PAR DOMAINE D'ACTIVITÉ EN 2019 (mSv)

Il existe des disparités fortes entre les différents domaines d'activité. Les personnels navigants de l'aviation présentent les doses individuelles moyennes les plus élevées, suivis par les travailleurs de l'industrie non nucléaire et nucléaire. 76 % des travailleurs surveillés n'ont reçu aucune dose. Peu de travailleurs reçoivent plus de 20 mSv : 9 en 2014, 5 en 2019.




## LA MESURE DE LA CONTAMINATION INTERNE

Pour les travailleurs susceptibles d'absorber des substances radioactives (par inhalation, ingestion, pénétration cutanée, voire par blessure), la surveillance s'appuie sur des examens anthroporadiométriques (mesure *in vivo*) et des analyses radiotoxicologiques des urines ou des selles.



### SURVEILLANCE DE ROUTINE

La surveillance de routine a pour but principal de vérifier que les travailleurs ne sont pas contaminés dans les conditions normales de travail.

**En 2019, sur près de 230 000 examens, 0,5 % ont révélé une contamination.**

### SURVEILLANCE SPÉCIALE

La surveillance de routine est complétée par une surveillance spéciale lorsqu'un événement particulier, avec suspicion de contamination, est suspecté ou détecté.

**En 2019, sur environ 10 000 examens, 15 % ont révélé une contamination.**

## CALCULEZ LA DOSE REÇUE

**Calculez la dose reçue pendant un vol en flashant le QR Code suivant ou sur http://www.sievert-system.org/**

## DÉCOUVREZ LE BILAN DE L'EXPOSITION DES TRAVAILLEURS

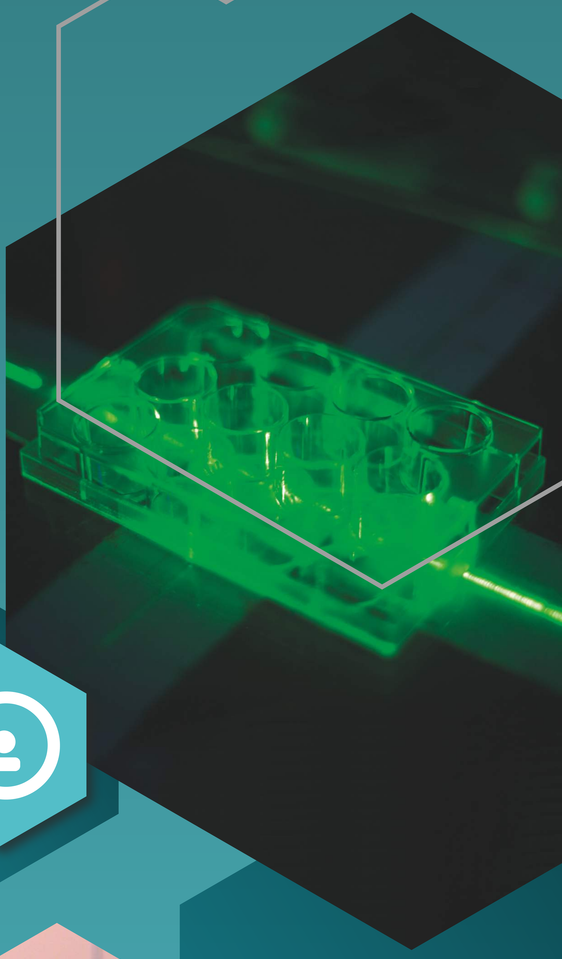
**Découvrez le bilan de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants en France (2019) sur http://www.irsn.fr/travailleurs-2019**

4.6 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# DES RAYONS POUR SOIGNER





5.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Francesco Acerbis/Médiathèque IRSN, Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

DES RAYONS POUR SOIGNER

# LA RADIOACTIVITÉ À L'HÔPITAL

Des rayonnements ionisants et des substances radioactives sont utilisés pour **identifier une maladie ou la soigner**. Des précautions doivent être prises afin que les bénéfices soient supérieurs aux risques.

Les hôpitaux accueillent des unités de diagnostic, de production, de traitement et de gestion des déchets radioactifs utilisés pour traiter les patients.

## DIAGNOSTIQUER

Les rayons X et gamma permettent de visualiser l'intérieur du corps humain sans avoir besoin d'opérer.

On appelle cela **l'imagerie médicale.**

### IMAGERIE PAR TRANSMISSION…

On place le patient entre une source de rayonnements et un détecteur. C'est le cas des radiographies classiques et des scanners, faits avec des rayons X.

Les rayons sont plus ou moins atténués selon les parties du corps traversées. Les tumeurs, fractures ou infections interagissent différemment avec les rayons et donnent une imagerie différenciée que les médecins savent reconnaître.



### … OU PAR ÉMISSION

On injecte au patient une substance radioactive.

La substance voyage jusqu'à une zone spécifique et émet des rayons gamma depuis l'intérieur du corps.

À l'extérieur, les rayons sont captés par une caméra. C'est le cas de la scintigraphie.

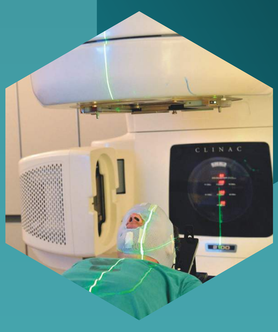


## TRAITER

On peut utiliser les rayonnements directement pour soigner.

L'irradiation a alors pour but de détruire une tumeur cancéreuse par exemple, tout en épargnant les tissus sains.

On appelle ce procédé **la radiothérapie.**




## EN DÉBAT DES RAYONS, PAS PLUS QUE DE RAISON

**La radiologie c'est un peu comme les antibiotiques : ça ne doit pas être automatique.**

Les professionnels de santé doivent veiller à ne pas recourir systématiquement aux rayonnements ionisants lorsqu'il existe des solutions alternatives, par exemple l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou l'échographie, qui ne présentent pas de risques.

La France dispose de moins de 14 IRM par million d'habitants, alors que la moyenne en Europe de l'Ouest est proche de 20.

**Chaque année, des dizaines de millions de radiographies et de scanners sont réalisées en France et plus de 200 000 personnes sont traitées par radiothérapie.**

L'utilisation des rayonnements ionisants dans le domaine médical a une réelle efficacité. Sur la période 1989-2010, on observe une amélioration de la survie nette standardisée à 5 ans pour la plupart des cancers.

5.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Philippe Castano/Médiathèque IRSN, Noak/Le bar floréal/Médiathèque IRSN, Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

DES RAYONS POUR SOIGNER

# DIAGNOSTIQUER

**Pour révéler l'intérieur d'un corps, on peut y introduire de la radioactivité ou bien l'exposer temporairement à des rayons. Il faut cependant bien maîtriser les doses.**

## IMAGERIE PAR ÉMISSION

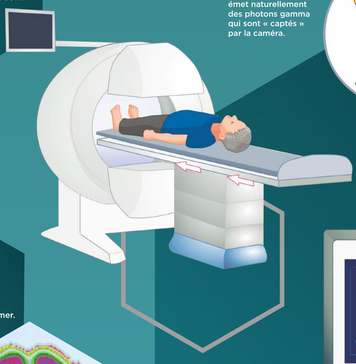
On injecte au patient un produit radioactif, appelé traceur 1.
On choisit ce traceur pour qu'il aille se fixer sur l'organe à étudier.

Comme une lampe dans l'obscurité, les rayons émis par le traceur permettent d'obtenir une image de l'organe à l'intérieur du corps.

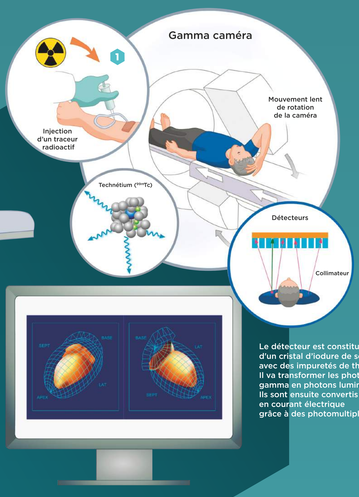
Pour cela, on utilise des produits qui perdent leur radioactivité rapidement : il faut injecter le minimum de radioactivité nécessaire pour que le patient soit le moins exposé possible.

### EXEMPLES DE TECHNIQUES

**La scintigraphie conventionnelle ou Tomographie d'émission monophotonique (TEMP)**
**Exemple de diagnostic :** thyroïde.
**Traceur :** iode 123 ou technétium 99m.
**Rayons émis :** gamma.
**Dose moyenne :** 4 mSv.

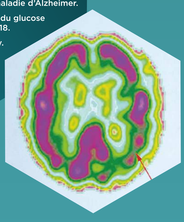


Le traceur radioactif émet naturellement des photons gamma qui sont « captés » par la caméra.




Le détecteur est constitué d'un cristal d'iodure de sodium (NaI) avec des impuretés de thallium (Tl). Il va transformer les photons gamma en photons lumineux. Ils sont ensuite convertis en courant électrique grâce à des photomultiplicateurs.

**La tomographie par émission de positon (TEP)**
**Exemple de diagnostic :**
diagnostic cérébral, maladie d'Alzheimer.
**Traceur :** un analogue du glucose marqué avec du fluor 18.
**Dose moyenne :** 7 mSv.

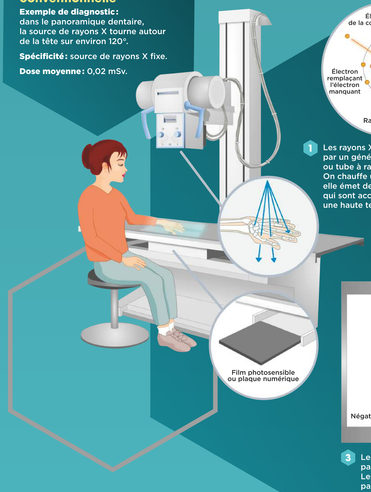


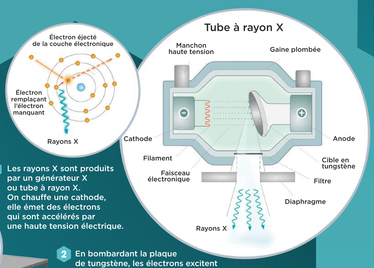
## IMAGERIE PAR TRANSMISSION

On irradie directement le patient avec des rayons X. En plaçant un détecteur derrière le patient, on peut dresser une carte de l'intérieur de son corps. Plus un tissu est dense, plus il atténue les rayons. Ainsi, les os et les tumeurs apparaissent clairement.

### EXEMPLES DE TECHNIQUES

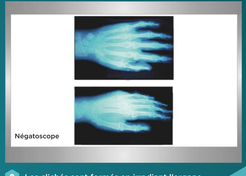
**La radiographie conventionnelle**
**Exemple de diagnostic :**
dans le panoramique dentaire, la source de rayons X tourne autour de la tête sur environ 120°.
**Spécificité :** source de rayons X fixe.
**Dose moyenne :** 0,02 mSv.



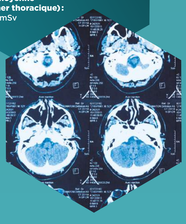

1 Les rayons X sont produits par un générateur X ou tube à rayon X.
On chauffe une cathode, elle émet des électrons qui sont accélérés par une haute tension électrique.

2 En bombardant la plaque de tungstène, les électrons excitent transitoirement les atomes de la plaque. Le retour à un état stable de ces atomes entraîne l'émission de rayons X.

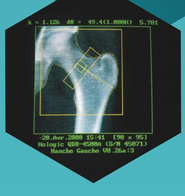



3 Les clichés sont formés en irradiant l'organe par des rayons X.
Les photons qui traversent l'organe sont arrêtés par un détecteur placé de l'autre côté.
La quantité de photons absorbés dépend de la composition chimique des tissus traversés.
Plus les tissus sont denses, plus ils arrêtent les photons.

**Le scanner**
**Exemple de diagnostic :**
scanner thoracique
**Spécificité :** source de rayons X mobile. Permet une radio par tranche et une reconstruction 3D.
**Dose moyenne (scanner thoracique) :**
5 à 10 mSv



**Ostéodensitométrie**
**Exemple de diagnostic :** hanche
**Spécificité :** deux sources de rayons X. Permet une mesure du contenu minéral osseux et de la densité osseuse.
**Dose moyenne :** 0,001 mSv



5.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : Corinne Beurtey/CEA – Photos : Cavallini James/BSIP, Yves Rousseau/BSIP, Laurent H. Americain/BSIP
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**DES RAYONS** POUR SOIGNER

# TRAITER

Le **pouvoir destructeur** des rayonnements est utilisé pour traiter des tumeurs. Fonctionnant comme une sorte de laser, ils sont capables d'atteindre et de détruire des tumeurs à l'intérieur du corps. Plusieurs modes de traitement existent.

## LA RADIOTHÉRAPIE EXTERNE

est un traitement utilisé chez plus de la moitié des patients atteints d'un cancer.

Il consiste à focaliser les rayonnements issus d'un accélérateur de particules ou d'un générateur de rayons X sur des cellules cancéreuses, afin de les détruire ou d'en bloquer la multiplication.

## EN CURIETHÉRAPIE,

une source radioactive est placée temporairement ou de façon permanente à l'intérieur du patient. La source délivre alors localement des rayons sur la tumeur à soigner.

La curiethérapie est couramment utilisée pour traiter le cancer du col de l'utérus, de la prostate et de la peau. La source ne reste en place de façon permanente que dans le cas du cancer de la prostate.











## LA RADIOCHIRURGIE ET LA RADIOTHÉRAPIE STÉRÉOTAXIQUE

sont des techniques de radiothérapie externe qui utilisent des rayonnements à forte dose et ultra-précis, à la façon d'un scalpel immatériel, pour détruire une tumeur. La précision est plus grande qu'en radiothérapie classique.

Parmi ces appareils, on trouve notamment le Gamma Knife®, le CyberKnife® et les collimateurs multilames. En 2019, on dénombrait en France 19 CyberKnife® et 5 Gamma Knife®.

## EN RADIOTHÉRAPIE MÉTABOLIQUE,

on administre au patient un produit radioactif qui va se fixer sur l'organe cible. La technique est similaire à la scintigraphie.

On utilise des substances permettant d'irradier au plus près les cellules malades, en évitant au maximum que les rayonnements n'atteignent les cellules saines.

## EN DÉBAT
## BIENFAITS ET DANGERS DE LA RADIOTHÉRAPIE

**La radiothérapie est réellement efficace. Plus de 200 000 personnes sont traitées chaque année.**

**Des protocoles très précis permettent de concentrer l'irradiation sur le tissu malade pour éviter de toucher d'autres organes et l'apparition de cancers secondaires. On fractionne la dose en plusieurs séances et l'irradiation se fait selon différents angles.**

**Des progrès considérables ont été accomplis dans ce domaine ces dernières années.**

**La radiothérapie utilise de fortes doses de rayonnements.**

**Il existe un risque de provoquer des lésions, voire un cancer secondaire, si l'on irradie les tissus sains et les organes avoisinant la tumeur, qui peuvent être des organes à risque.**

5.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN, agefotostock/Alamy Stock Photo, monkeybusinessimages/IStock, Phototake/Grossman/BSIP
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

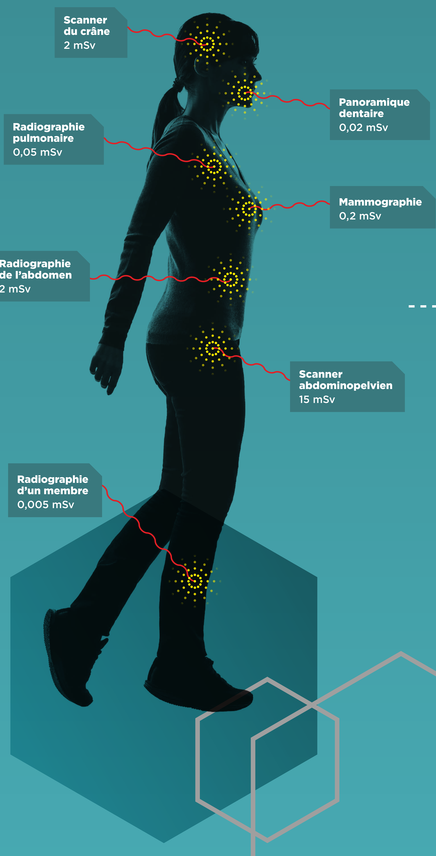
DES RAYONS POUR SOIGNER

# IMAGERIE MÉDICALE : LIMITER LES DOSES

**Attention à la multiplication des examens non justifiés.**

## PRUDENCE
### AVEC LES RADIOGRAPHIES ET LES SCANNERS

Bien qu'ils soient utilisés à des fins médicales, les rayonnements présentent des risques et doivent être utilisés avec précaution.




## QUELQUES CONSEILS
### DE VOTRE CÔTÉ

#### LES RAYONS X, CE N'EST PAS AUTOMAT'X

Ne demandez pas une radiographie ou un scanner à votre médecin juste pour vous rassurer. Seul votre médecin peut juger de l'intérêt de réaliser un tel examen.

De plus, demandez à votre médecin pourquoi, dans votre cas, une radio ou un scanner est préférable à un examen d'imagerie n'utilisant pas les rayons X, comme l'échographie ou l'IRM.

#### SOYEZ VIGILANTS

Conservez et apportez vos clichés et comptes rendus d'examens. S'ils sont récents, vous n'aurez peut-être pas besoin de les refaire. De plus, veillez à ce que la dose de rayonnement reçue lors de l'examen figure dans votre compte rendu, pour un meilleur suivi.

#### ATTENTION AUX PLUS JEUNES

Parce que leurs organes sont en croissance, les enfants sont plus sensibles aux rayons X que les adultes. Il convient donc d'être particulièrement attentif aux plus jeunes et aux femmes enceintes.

## QUELQUES CONSEILS
### DU CÔTÉ DU PERSONNEL SOIGNANT

#### MINIMISER LE TEMPS D'EXPOSITION

Ne pas rester dans la salle quand un cliché radiologique est réalisé.

#### SE PROTÉGER

Utiliser des protections individuelles qui absorbent les rayons : port de tabliers plombés, de lunettes plombées et de cache-thyroïde, utilisation de paravents plombés mobiles.

#### AUGMENTER LA DISTANCE

En multipliant par 2 la distance, on divise par 4 la dose reçue. Exemple pratique : utiliser des pinces pour manipuler les sources radioactives.

**Augmentation des doses**

Partout dans le monde, on a de plus en plus recours à l'imagerie médicale (scanners…).

Si le recours à une imagerie de plus en plus performante permet de diminuer la dose reçue, il faut néanmoins **rester vigilant !**

## ANALYSES
### EN FRANCE

**Flashez les QR codes suivants et découvrez :**

- l'analyse de l'exposition des Français liée aux diagnostics
- l'analyse des doses reçues en France par les patients

5.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photo : snaptitude/AdobeStock
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

DES RAYONS POUR SOIGNER

# RADIOTHÉRAPIE : MAÎTRISER LES RISQUES

**Des compétences, des protocoles, des appareils très surveillés.**

**LE GRAY**
est utilisé pour mesurer l'énergie due à la quantité de rayonnement reçue.




## RADIOTHÉRAPIE : LA BONNE CONDUITE

### MAÎTRISER LE RAPPORT BÉNÉFICE/RISQUE

Dans le cadre d'une radiothérapie, le médecin doit optimiser la dose pour avoir à la fois :

- le maximum de chance de détruire définitivement les tissus malades ou une tumeur cancéreuse. C'est la notion de **dose de contrôle** ;
- le minimum de risque de provoquer des complications ou cancers secondaires. C'est la notion de **dose de tolérance.**

Si l'on minimise la dose prescrite, on protège les tissus sains mais on prend le risque que le patient ne soit pas soigné (sous-irradiation). Inversement, si l'on prescrit une dose trop forte, on augmente l'efficacité du traitement mais on prend le risque de générer des effets secondaires indésirables. L'objectif est donc de trouver un compromis entre l'efficacité du traitement et les effets secondaires.

### ESPACER LES DOSES

Le médecin doit répartir la dose sur plusieurs séances pour permettre aux tissus sains de se régénérer.

### MAÎTRISER LA TECHNOLOGIE

Le réglage et la maintenance des appareils doivent être réalisés avec rigueur.

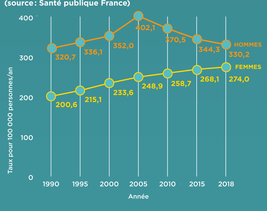
### CONTRÔLER RÉGULIÈREMENT

L'ASN contrôle régulièrement l'ensemble des centres de radiothérapie, elle est particulièrement attentive aux facteurs humains et organisationnels. L'ASN sensibilise les professionnels avec des publications et des formations.

## LES CHIFFRES DES CANCERS DÉTECTÉS

Le nombre de cancers a augmenté depuis une trentaine d'années. Cette augmentation est notamment due au vieillissement de la population et à l'évolution des techniques de diagnostic.

**Évolution de l'incidence des cancers de 1990 à 2018 selon le sexe (source: Santé publique France)**




La mortalité par cancer a cependant baissé, du fait de l'évolution des techniques médicales.

**Évolution de la mortalité par cancer de 1990 à 2018 selon le sexe (source: Santé publique France)**




L'espérance de survie à 5 ans à la suite d'un cancer reste très inégale aujourd'hui. Certains cancers sont très bien soignés, comme le cancer de la prostate, mais d'autres sont mortels pour plus de 8 patients sur 10, comme le cancer du poumon.

Plus de 200 000 patients sont traités en radiothérapie chaque année en France.

**IRRADIÉ MAIS PAS CONTAMINÉ !**

En radiothérapie externe, une fois la séance en salle de traitement terminée, le patient n'emporte avec lui aucune radioactivité. Son entourage ne court **aucun risque.**

Rendez-vous sur sur le site **e-cancer.fr** pour télécharger le **guide du patient** (rubrique Expertises et publications) mais aussi découvrir les modes de **traitements et les effets secondaires** (rubrique Patients et proches/Se faire soigner).

Flashez ce QR code pour y accéder.

5.6 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photo : snaptitude/AdobeStock
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

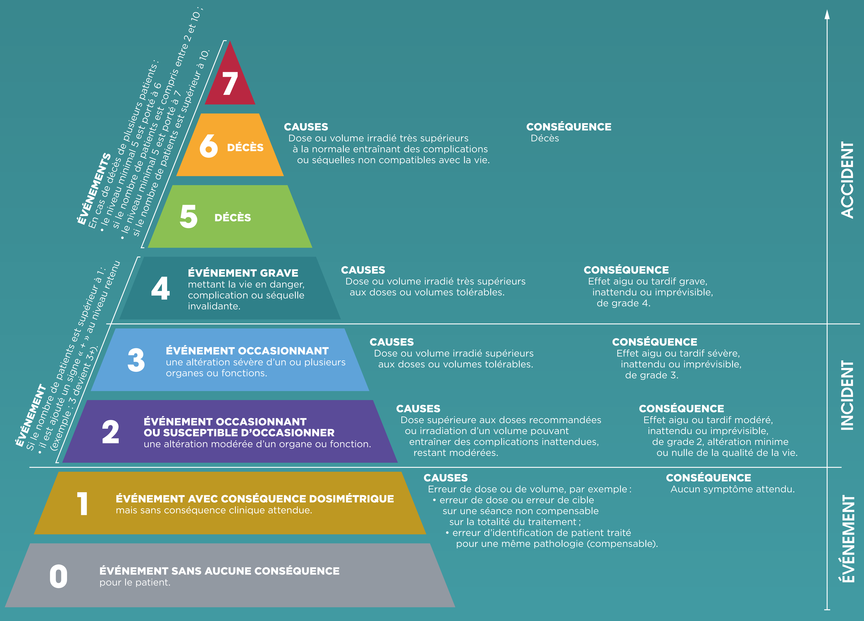
DES RAYONS POUR SOIGNER

# LES ACCIDENTS DE RADIOTHÉRAPIE

**Des erreurs de positionnement et de dosage ont déjà été commises en radiothérapie en France et dans le monde. Les contrôles doivent être réguliers et le retour d'expérience pris en compte.**

## UNE ÉCHELLE DE CLASSEMENT

L'échelle ASN-SFRO permet d'informer sur la gravité des évènements en radiothérapie : erreur de positionnement du patient, erreur de dose…




### ACCIDENT D'ÉPINAL 2004/2005

Entre mai 2004 et août 2005 au centre hospitalier Jean-Monnet d'Épinal (Vosges), 24 patients traités pour un cancer de la prostate ont reçu une dose trop importante à cause d'une mauvaise utilisation du logiciel de planification du traitement.

Certains sont décédés des suites de cette surexposition. Il est apparu lors de l'enquête que d'autres dysfonctionnements ont causé la surexposition de 5 000 patients.


Les manipulateurs radio appréhendent sur le nouveau matériel

*Aujourd'hui en France* du 13/10/2006

### ACCIDENT DE TOULOUSE 2006/2007

Entre avril 2006 et avril 2007, des erreurs d'étalonnage de l'appareil de radiochirurgie du CHU de Toulouse ont entraîné la surexposition de 145 patients.

Certains ont subi des complications neurologiques sévères à la suite de l'accident.


EXCLUSIF 145 malades irradiés à Toulouse

145 malades irradiés à l'hôpital de Toulouse

*Aujourd'hui en France* du 23/05/2007

## LES ENSEIGNEMENTS DU PASSÉ

À la suite des accidents graves d'Épinal et de Toulouse, les pouvoirs publics ont pris des mesures drastiques :

- examen des pratiques des 178 centres de radiothérapie privés et publics, avec pour résultat la fusion ou la fermeture de ceux qui ne respectaient pas les exigences ;
- recrutement de physiciens médicaux supplémentaires, spécialisés dans la gestion des rayonnements et des appareils associés ;
- large renouvellement du parc de matériel et augmentation du nombre d'appareils de traitement ;
- spécialisation des accélérateurs disponibles avec l'apparition et la diffusion de machines dédiées ;
- obligation de suivre les patients pendant 5 ans après la fin des traitements ;
- obligation de déclarer à l'ASN tout incident ou accident ;
- obligation pour les centres de formaliser les pratiques (assurance qualité) ;
- obligation pour les centres d'analyser tout dysfonctionnement y compris ceux sans gravité.

### LES INSPECTEURS DE L'ASN ET LES EXPERTS DE L'IRSN

L'utilisation de substances radioactives et de rayonnements à l'hôpital engendre un risque qu'il faut maîtriser.

L'ASN et l'IRSN réalisent donc des contrôles et des expertises dans l'intérêt des patients comme du personnel soignant.

5.7 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : Kazoar – Photos : *Aujourd'hui en France*
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

ASN AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

DES RAYONS POUR SOIGNER

# LES PRODUITS **UTILISÉS**

**De nombreuses substances radioactives sont utilisées à l'hôpital. Elles ont chacune des spécificités qui les rendent efficaces pour des organes particuliers.**

## QUELS PRODUITS POUR QUELS USAGES ?

### TECHNÉTIUM 99m (INJECTION)

**Demi-vie : 6,02 heures**

Le technétium 99m est le produit le plus utilisé en imagerie médicale. Associé à différentes molécules, il permet l'exploration d'un nombre important d'organes (thyroïde, os, cœur, reins, poumons…).

Sa demi-vie est assez longue pour suivre les processus physiologiques, mais assez courte pour limiter l'irradiation du patient.

L'énergie de son rayonnement est idéale : suffisante pour traverser les tissus vivants et pour pouvoir être détectée commodément mais assez faible pour limiter l'exposition du patient.

### IODE 123 (INJECTION)

**Demi-vie : 13 heures**

L'iode 123 est un isotope de l'iode utilisé pour étudier la thyroïde car il se fixe naturellement sur celle-ci. Ses radiations riches en photons gamma de faible énergie et sa demi-vie courte en font un agent bien adapté à l'imagerie.

### IODE 131 (GÉLULE / RADIOTHÉRAPIE)

**Demi-vie : 8,2 jours**

L'iode 131 est un autre isotope de l'iode. Ses radiations riches en particules bêta et sa demi-vie relativement longue en font un élément dédié au traitement des pathologies thyroïdiennes.

On l'utilise pour l'ablation de nodules thyroïdiens hyperactifs, pour le traitement de certaines formes d'hyperthyroïdie et pour la recherche et l'ablation de tumeurs thyroïdiennes.

### SAMARIUM 153 (INJECTION / RADIOTHÉRAPIE)

**Demi-vie : 46,8 heures**

Le samarium 153 est utilisé en radiothérapie symptomatique, principalement pour soulager les douleurs dues aux métastases osseuses d'un cancer.

### FLUOR 18 (INJECTION)

**Demi-vie : 110 minutes**

Il est utilisé en imagerie médicale. Ses rayonnements ont un faible parcours dans le corps et permettent une image précise. Sa demi-vie est très courte, moins de 2 heures, ce qui limite la contamination et l'exposition du patient. Il est essentiellement utilisé en oncologie.

### THALLIUM 201 (INJECTION)

**Demi-vie : 3 jours**

Le thallium 201 est un isotope radioactif utilisé en scintigraphie cardiaque. Longtemps utilisé, il tend à être délaissé au profit de marqueurs plus récents.

### YTTRIUM 90 (INJECTION/RADIOTHÉRAPIE)

**Demi-vie : 2,7 jours**

L'yttrium 90 est utilisé en radiothérapie. Il est injecté au patient sous forme de microsphères pour soigner principalement le cancer du foie. Les microsphères en résine vont se fixer dans les capillaires du foie et ceux irriguant la tumeur à détruire.

### GALLIUM 68 (INJECTION)

**Demi-vie : 68 minutes**

Cet isotope est similaire au fluor 18 dans ses caractéristiques physiques et est utilisé comme lui en imagerie médicale en oncologie. Son application principale actuelle concerne le diagnostic des tumeurs neuroendocrines digestives. Il devrait être autorisé prochainement en France pour le diagnostic des cancers de la prostate.

### INDIUM 111 (INJECTION)

**Demi-vie : 2,8 jours**

Un traceur marqué à l'indium peut être injecté afin d'imager la production, la migration et la réabsorption du liquide céphalorachidien.

On peut aussi utiliser le traceur à l'indium joint aux globules blancs du patient pour rechercher une infection.

### LUTÉTIUM 177 (INJECTION/RADIOTHÉRAPIE)

**Demi-vie : 6,7 jours**

Tout comme l'iode 131, cet isotope émet des particules bêta et possède une période relativement longue, ce qui en fait un isotope idéal pour la thérapie. Il est utilisé actuellement pour le traitement des tumeurs neuroendocrines digestives. Il devrait être autorisé prochainement en France pour le traitement des cancers de la prostate.

**DEMI-VIE**

La demi-vie d'une matière radioactive est le temps au bout duquel la moitié des atomes de départ se sont désintégrés.

## ET AVANT L'ADMINISTRATION DES PRODUITS ?

La durée de vie relativement courte des isotopes utilisés dans le médical oblige à recourir à des livraisons fréquentes dans les hôpitaux. Environ 30 % des colis contenant des substances radioactives sont transportés pour les usages médicaux.

### FABRIQUER LE TECHNÉTIUM 99m




Le technétium 99m a une durée de vie très courte. Il doit être préparé quelques heures avant son usage, d'où l'importance d'avoir un centre de production au sein des hôpitaux.

5.8 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La fabrique créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# USAGES MÉCONNUS DES RAYONNEMENTS





6.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : ajiravan/IStock, NASA/JPL-Caltech
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**USAGES MÉCONNUS**
DES RAYONNEMENTS

# DES USAGES **INSOUPÇONNÉS**

**Les rayonnements ionisants sont utilisés dans la vie quotidienne et dans des disciplines très variées et parfois insoupçonnées. Ils constituent une véritable boîte à outils ! Ils peuvent aussi bien révéler l'invisible, assainir les aliments, dater des œuvres d'art que propulser des navires militaires ou envoyer des sondes aux confins du système solaire.**

**Ces applications doivent être contrôlées, notamment pour protéger les professionnels qui les mettent en œuvre.**

## DÉTECTER / MESURER

Les rayonnements sont plus ou moins absorbés par les matériaux qu'ils traversent.

On se sert de cette propriété pour révéler l'intérieur d'objets, c'est la radiographie, ou encore pour contrôler les niveaux d'un liquide ou l'épaisseur d'un matériau.





## ASSAINIR / STÉRILISER

Les rayonnements ont la capacité de détruire les micro-organismes. Ils permettent une meilleure conservation des produits, par exemple en empêchant la germination des bulbes et tubercules ou en éliminant les insectes parasites.

La radioactivité est également utilisée pour détruire les micro-organismes et assainir des objets anciens en ethnologie ou en archéologie, afin d'améliorer leur conservation, ou pour le matériel médical.

## DATER / PRÉSERVER

La radioactivité d'un matériau décroît au cours du temps. Elle peut ainsi servir à dater des objets et des fossiles. Le carbone 14 permet de déterminer l'âge d'objets jusqu'à 50 000 ans.

D'autres radioéléments permettent de donner un âge à des évènements de l'histoire de la Terre, de son climat et des êtres vivants qui l'ont habitée.





## TRANSFORMER / PROPULSER

La radioactivité peut être utilisée pour provoquer des réactions chimiques et permettre l'élaboration de matériaux plus légers et plus résistants pour des prothèses, câbles électriques, pièces pour l'aéronautique ou encore ustensiles de cuisine en Téflon.

Par ailleurs, les sondes et robots d'exploration spatiale et les satellites sont équipés de piles très longue durée contenant une source radioactive. En raison du besoin d'autonomie, certains sous-marins, porte-avions ou navires brise-glace sont dotés d'un moteur nucléaire.

6.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : DJ/AdobeStock, EM Art/Adobe Stock, Inrap/Dist. RMN-Grand Palais/Denis Gliksman, NASA/JPL
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

USAGES MÉCONNUS DES RAYONNEMENTS

# DÉTECTER, MESURER

**Les rayonnements ionisants sont plus ou moins arrêtés selon la densité des matériaux. Ils constituent donc un excellent moyen pour sonder, mesurer et contrôler.**

## LA GAMMAGRAPHIE

La gammagraphie permet, à l'aide d'un appareil portable contenant une source radioactive, d'apprécier les défauts d'un matériau ou d'une soudure. Cette technique utilise principalement des sources d'iridium 192 et de cobalt 60.

Ces sources, de haute activité, présentent des risques d'exposition élevés pour les travailleurs qui doivent mettre en place des mesures de protection adéquates.



La Vénus de Milo est exposée aux rayons, à l'aide d'un gammagraphe, qui révéleront les fragilités de son anatomie.



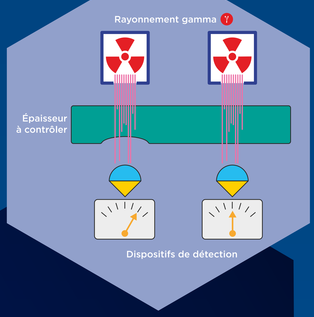


Un technicien prépare un tir de gammagraphie pour inspecter une lourde pièce de chaudronnerie. Ils ont été spécifiquement formés et vont s'éloigner au moment du tir.

**Les jauges radioactives, comment ça marche ?**

D'un côté, une source émet des rayons.
De l'autre, un dispositif de détection mesure la quantité de rayons ayant traversé l'objet.

L'absorption des rayons dépend de l'épaisseur traversée et de la structure du matériau.




## D'AUTRES TYPES DE CONTRÔLES

### JAUGES RADIOACTIVES

Des faisceaux de rayonnements issus de sources radioactives (krypton 85, césium 137, américium 241, cobalt 60, prométhium 147) sont utilisés pour contrôler l'épaisseur des tôles de voiture dans des chaînes de laminage, le grammage des feuilles dans l'industrie papetière, les niveaux de pétrole dans les tours de raffinage ou encore le remplissage des briquets ou de fûts de bière.

### PROTOTYPAGE DE MOTEURS

Une pièce mécanique cruciale est rendue légèrement radioactive par irradiation. L'usure de la pièce durant le fonctionnement engendre un dépôt de matière radioactive dans l'huile de lubrification. L'huile est analysée pour déterminer la perte de métal et donc la vitesse d'usure de la pièce.

### DÉTECTEUR À FLUORESCENCE X

Des détecteurs dotés d'une source radioactive sont utilisés pour contrôler la présence de plomb dans les peintures de logements (diagnostic immobilier) ou pour déterminer la composition des minéraux et de métaux.

### QUALITÉ DE L'AIR

La teneur en poussière de l'air peut être mesurée à l'aide de rayonnements sur un filtre de prélèvement.

6.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative – Photos : C. Dupont/CEA, Nedim Imré/IRSN, Sophie Brändström/Signatures/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**USAGES MÉCONNUS** DES RAYONNEMENTS

# ASSAINIR, **STÉRILISER**

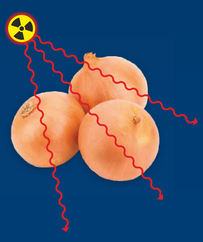
Dans **l'agro-alimentaire** et dans la **santé**, on utilise les rayonnements ionisants pour détruire les **micro-organismes.**

## AMÉLIORER LA CONSERVATION

Les oignons ou échalotes peuvent être irradiés pour inhiber leur germination afin qu'ils se conservent plus longtemps.

Les légumes et les fruits secs peuvent être irradiés pour la désinsectisation.

Les fruits frais ne sont pas irradiés en France !



### POURQUOI L'OIGNON IRRADIÉ N'EST-IL PAS RADIOACTIF ?

On parle d'irradiation lorsque la source radioactive est située à l'extérieur et que les rayonnements traversent les produits. L'irradiation s'arrête lorsque l'on s'éloigne de la source. Elle n'est pas contaminante en tant que telle. Le rayonnement ne fait que passer, même s'il modifie certaines cellules.

Si les irradiations sont dangereuses pour les humains, c'est parce qu'elles modifient ses cellules et non directement à cause de la radioactivité qui ne fait que passer.

Pour contaminer quelqu'un ou quelque chose, il faut que la radioactivité soit véhiculée par des gaz ou des matières solides (poussières) qui se déposent ou sont inhalés.

### Plusieurs techniques d'irradiation

- **Le faisceau d'électrons :** issu d'un accélérateur de particules, il est très efficace mais traite les produits un à un.
- **Les rayons gamma :** issus d'une source radioactive de cobalt 60, ils sont capables de traiter une grande quantité de produit et avec fiabilité, grâce à leur pouvoir pénétrant. Il existe six irradiateurs en France, qui traitent chaque année environ 3 000 tonnes de produits.

## SÉCURISER LES TRANSFUSIONS

Comme pour l'alimentation, l'irradiation de produits sanguins est pratiquée pour rendre inactives certaines cellules susceptibles d'entraîner une maladie mortelle chez les patients transfusés.

Cette irradiation est généralement réalisée à l'aide d'un appareil émettant des rayons X.



## STÉRILISER

Des aliments, des matières premières pharmaceutiques et des dispositifs médicaux sont également traités pour détruire les micro-organismes.

Les rayonnements, en particulier les rayons gamma du cobalt 60, entraînent des ruptures de liaisons chimiques lors de leurs interactions avec le vivant, ce qui permet d'éliminer à froid, et avec une grande fiabilité, les bactéries, les moisissures et les parasites.

Leur pouvoir pénétrant garantit un traitement effectif et total du produit.

### UN ÉTIQUETAGE SPÉCIFIQUE

En France, comme en Europe, toute denrée irradiée doit porter la mention « traité par rayonnements ionisants » ou « traité par ionisation ».

En pratique, cette signalétique n'apparaît quasiment jamais au consommateur dans la mesure où les ingrédients irradiés sont le plus souvent incorporés dans des plats préparés où ils sont mélangés à d'autres non irradiés.

IRRADIÉ

IRRADIATED

## EN DÉBAT IRRADIER LES ALIMENTS ?

**Les partisans de l'irradiation considèrent que cette méthode est moins néfaste que d'autres modes de conservation des aliments car elle limite notamment l'usage de produits chimiques et réduit le risque de contamination par un organisme pathogène. Cependant, la quantité de denrées traitées par irradiation tend à diminuer chaque année.**

**Des controverses persistent sur la possibilité de création de substances toxiques. L'Autorité européenne de sécurité des aliments (AESA) n'a pas retenu comme concluant les résultats des études tendant à démontrer le caractère mutagène ou cancérogène de l'irradiation des aliments mais s'interroge sur les atteintes neurologiques observées chez des chats nourris avec des aliments fortement irradiés.**

6.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : EM Art/Adobe Stock, ninice64/Adobe Stock
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**USAGES MÉCONNUS**
DES RAYONNEMENTS

# DATER, PRÉSERVER

**La radioactivité ionisants présente naturellement dans un objet peut servir de traceur pour le dater ou l'analyser.**

## DATER

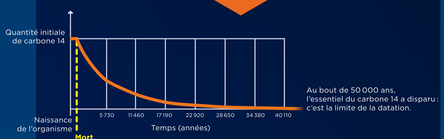
La radioactivité décroît au cours du temps et peut ainsi servir pour dater des objets.
La mesure du carbone 14 permet par exemple de donner un âge précis aux momies et squelettes retrouvés par les archéologues.

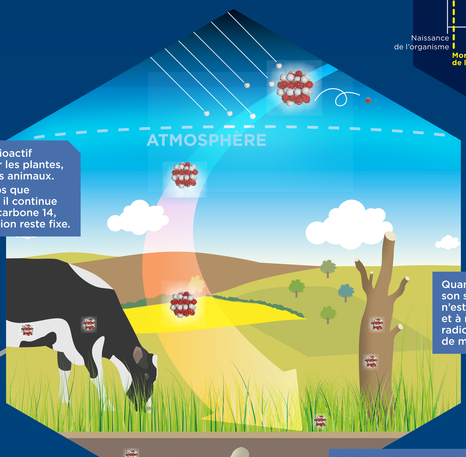
L'analyse d'autres éléments, comme le plomb, le potassium, l'argon ou l'uranium, permet de dater jusqu'à l'âge même de la Terre.

### Le carbone 14

Il est naturellement présent dans l'air. Il provient des collisions entre le carbone stable de l'air et les rayonnements cosmiques.

Sa demi-vie est de 5730 ans.




Le carbone radioactif est absorbé par les plantes, les Hommes, les animaux.
Aussi longtemps que l'organisme vit, il continue d'absorber du carbone 14, dont la proportion reste fixe.

Quand l'organisme meurt, son stock de carbone 14 n'est plus renouvelé : au fur et à mesure des désintégrations radioactives, il reste donc de moins en moins de carbone 14.

En déterminant combien il reste de carbone 14 dans un échantillon par rapport au taux normal pour les êtres vivants, on peut déterminer la date de la mort de la plante, de la personne ou de l'animal.
C'est par cette méthode que l'on a pu identifier à quelle époque vivaient les mammouths.

## PRÉSERVER

Les rayonnements sont adaptés pour la désinsectisation et désinfection de mobilier, de statues ou encore de momies.

La désinsectisation consiste à stériliser ou détruire des insectes qui s'attaquent aux bois anciens.

La désinfection vise à détruire champignons, moisissures et autres parasites.
Cela demande des doses plus importantes.



6.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative – Photo : Tatty/Adobe Stock
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**USAGES MÉCONNUS** DES RAYONNEMENTS

# TRANSFORMER, **PROPULSER**

**Les rayonnements ionisants peuvent servir à transformer des matériaux mais aussi à propulser des navires et des sondes spatiales.**

## TRANSFORMER

En irradiant des matériaux, on peut modifier leurs propriétés pour les rendre, par exemple, plus légers ou plus résistants. Ils ne deviennent pas radioactifs pour autant.



### VULCANISATION DES PNEUS

L'élasticité et la résistance des pneus peuvent être améliorées par irradiation.

### PROTECTION DU BOIS

Les résines de protection du bois peuvent être renforcées par irradiation. Le parquet de la grande galerie de l'évolution du muséum d'Histoire naturelle de Paris a été ainsi traité pour le protéger des nombreux passages des visiteurs.



### COUCHES POUR BÉBÉ

L'effet des radiations peut changer la structure moléculaire de certains matériaux en leur permettant par exemple d'absorber des quantités considérables de liquide. Cette propriété a été mise à profit pour fabriquer des couches très absorbantes.

### DURCISSEMENT DES PLASTIQUES

Les étuis en plastique de jeux de cartes, les emballages, ou encore les gaines de câbles électriques sont irradiés pour augmenter leur résistance aux agents chimiques, à la chaleur…

### NANOSTRUCTURATION

À l'aide d'un irradiateur, on peut sculpter la matière à une échelle très petite, celle du nanomètre ($10^{-9}$ m). Les applications des nanostructures sont nombreuses : implants médicaux miniatures, circuits électroniques microscopiques ou encore nouvelles batteries à chargement ultra-rapide.





### REVÊTEMENTS EN TÉFLON

Les revêtements des poêles en Téflon sont formés de micro-grains obtenus par irradiation.



## PROPULSER

La radioactivité peut être une source d'énergie pour des navires ou machines d'exploration spatiale.

### LA PILE ATOMIQUE

Les sondes spatiales d'exploration ou les Rover martiens ont besoin d'une source d'énergie stable, de longue durée et qui ne nécessite pas de maintenance.

Ils sont équipés d'une pile atomique : c'est un générateur qui produit de l'électricité à partir de la chaleur, chaleur produite elle-même par la désintégration radioactive de matériaux riches en plutonium 238.

### LE RÉACTEUR NUCLÉAIRE

Certains sous-marins, brise-glace et porte-avions sont mus par des réacteurs nucléaires qui fonctionnent comme les centrales.

Les avantages de la propulsion nucléaire par rapport à la propulsion classique sont une plus grande autonomie, un encombrement plus faible (pas de réservoir de carburant) et une puissance considérable.

Elle comporte cependant des enjeux de sûreté.





6.6 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : dardespot/iStock, Polina Strelkova/iStock, Kuzmik_A/iStock, ARC-Nucléart, NASA/JPL-Caltech, ministère de la Défense japonais
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**USAGES MÉCONNUS** DES RAYONNEMENTS

# HIER AUTORISÉS… AUJOURD'HUI INTERDITS

**La radioactivité était utilisée autrefois dans nombre d'objets aujourd'hui interdits. Il vaut mieux s'en séparer, l'Andra les collecte.**



## À NE SURTOUT PAS REPRODUIRE…

### LA RADIOACTIVITÉ POUR SE RÉGÉNÉRER

Commercialisées dans les années 1920 et 1930, des carafes dans lesquelles on insérait des capsules de sels de radium étaient censées délivrer « une eau revigorante ».

Un grand sportif de golf américain en est mort prématurément.

### LA RADIOACTIVITÉ POUR ÊTRE BELLE

Au début des années 1930, une crème de beauté au radium et au thorium sort sur le marché. Nommée Tho-Radia, elle promet d'embellir les femmes en effaçant leurs rides.

En 1937, le radium et le thorium sont classés comme substances vénéneuses, mettant fin à l'aventure « miraculeuse » de la marque.



### LA RADIOACTIVITÉ POUR MIEUX VOIR LA NUIT

Dans les années 1920, on utilisait le radium dans les peintures luminescentes de montres, de réveils et d'instruments d'avion, pour une utilisation nocturne.

Les femmes qui peignaient dans les usines ces objets ont développé des cancers et des nécroses de la mâchoire car elles affinaient leur pinceau avec les lèvres.

### LA RADIOACTIVITÉ POUR GUÉRIR

Les objets au radium à usage médical (ORUM) étaient très répandus au début du XX$^{e}$ siècle. Aiguilles, sondes, compresses au radium équipaient les bureaux des chirurgiens et des radiologues.

Ces objets sont parmi les plus actifs et donc les plus dangereux. Si vous en avez, il faut vous en débarrasser auprès de l'Andra.



## LA RADIOPROTECTION ÉVOLUE ENCORE…

Jusque dans les années 1980, des paratonnerres radioactifs ont été installés sur les toits. Ils sont interdits depuis 1987 mais certains demeurent en place.

Jusqu'au début des années 2000, les détecteurs de fumées incorporant une source radioactive ont été largement utilisés. Depuis, de nouvelles technologies aussi fiables mais sans risques ont fait leur apparition.

En situation normale, ni l'un ni l'autre ne présentent de danger pour la santé des personnes. Cependant, ils peuvent présenter des risques s'ils sont détériorés ou démontés.

**Pour plus d'information**

sur le processus de collecte, rendez-vous sur le site Internet de l'Andra, rubrique Espace producteur

## ET AUJOURD'HUI ?

**L'ajout de substances radioactives est interdit dans les produits de consommation et de construction. Des dérogations sont possibles mais demeurent exceptionnelles. L'usage de la radioactivité n'est justifié que s'il n'existe pas de technique équivalente.**

**L'INAPARAD**

Le site officiel de l'inventaire national des paratonnerres radioactifs.

6.7 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : George Marks/IStock, Andra, Esther Mateo-Kate Moore
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

ASN AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**USAGES MÉCONNUS** DES RAYONNEMENTS

# SOIGNER LES ANIMAUX

**Les animaux** de compagnie et d'élevage bénéficient également des utilisations médicales des rayonnements ionisants.

## SOIGNER LES ANIMAUX DE COMPAGNIE

**19 000 vétérinaires** répartis dans 6 000 centres de soin en France sont équipés d'appareils émettant des rayons X.



Comme les humains, les animaux peuvent subir des chocs ou faire des chutes. La radiographie est dans ce cas tout aussi utile pour localiser et traiter les éventuelles fractures.

Les animaux de compagnie ont, comme nous, des risques de développer un cancer. Ils peuvent être diagnostiqués et traités avec les mêmes techniques de radiothérapie que les humains.



## SOIGNER LES GRANDS ANIMAUX

Les soins pratiqués sur les animaux de grande taille requièrent des équipements et des locaux spécialement aménagés ou des générateurs de rayon X portables **(radiographie mobile)**.

La réalisation d'un radiodiagnostic mobile équin nécessite la présence de plusieurs personnes, principalement pour maintenir l'animal ou les appareils. Ces pratiques doivent être réglementées et surveillées pour protéger tous les intervenants des dangers des rayonnements ionisants.



6.8 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Octobre 2021
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Éric Isselée/Adobe Stock, Ivonne Wierink, MICEN VET, Florence Levillain/Signatures/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?





7.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Philippe Dureuil/Médiathèque IRSN, Laurent Zylberman/Graphix-Images/ Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

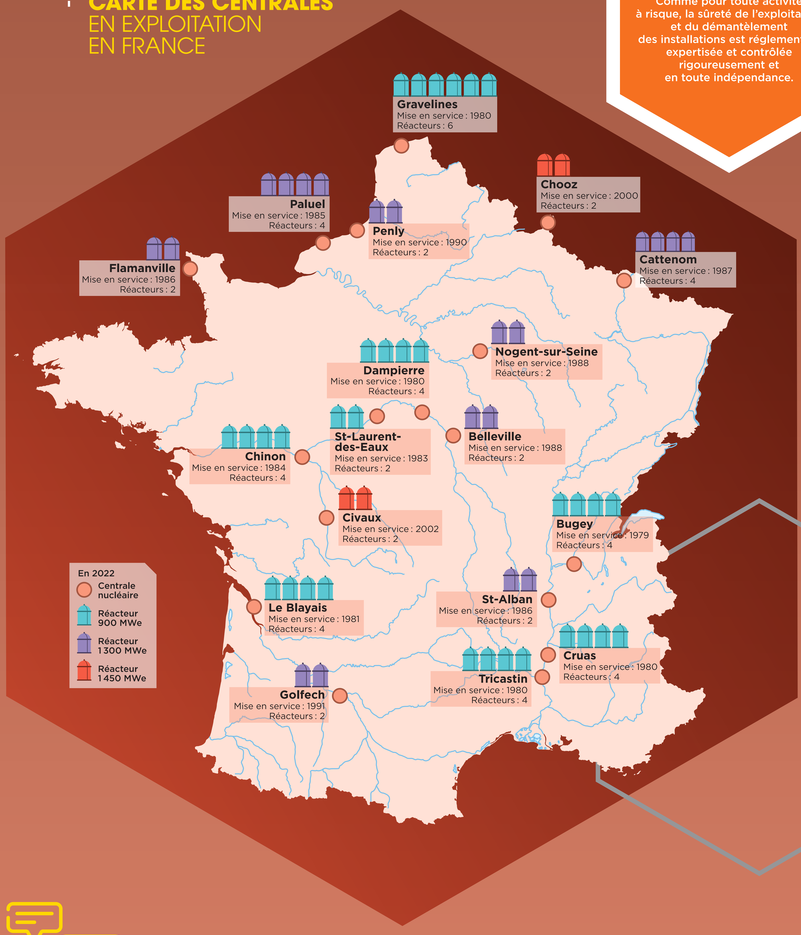
IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**LES CENTRALES** SONT-ELLES SÛRES ?

# LE NUCLÉAIRE **EN FRANCE**

**Dans le monde, plus de 440 réacteurs nucléaires produisent environ 10 % de l'électricité. Cette part atteint 30 % en Europe et plus de 75 % en France, qui compte 56 réacteurs nucléaires de la filière à eau sous pression mis en service entre la fin des années 1970 et le début des années 2000.**

## CARTE DES CENTRALES EN EXPLOITATION EN FRANCE




### SÛRETÉ

Comme pour toute activité à risque, la sûreté de l'exploitation et du démantèlement des installations est réglementée, expertisée et contrôlée rigoureusement et en toute indépendance.

## EN DÉBAT POUR OU CONTRE LES CENTRALES NUCLÉAIRES ?

**Les personnes favorables au nucléaire avancent les arguments suivants :**

- **cette énergie assure un prix compétitif à l'énergie électrique produite ;**
- **c'est une source d'énergie qui n'émet quasiment pas de $CO_2$ ;**
- **des exigences strictes encadrent la sûreté des installations nucléaires ;**
- **les incidents sont déclarés et analysés pour en tirer les leçons.**

**Les opposants répondent avec les raisonnements suivants :**

- **l'exploitation nucléaire a déjà provoqué des accidents graves en dépit des contrôles ;**
- **ces accidents ont contaminé l'environnement et induit des risques pour la santé ;**
- **le coût du démantèlement des installations et du stockage des déchets nucléaires inquiète ;**
- **certains déchets devront être stockés pendant des milliers d'années posant la question de la sûreté et de la transmission des connaissances et compétences aux générations futures.**

7.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Carte : Kazoar
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?

# LA FISSION DE L'ATOME ET SES RISQUES

Le mot atome vient du grec *atomos*, qui signifie « ne peut être divisé ». Et pourtant ! **Les atomes peuvent bien être cassés.** Ce phénomène, appelé **fission nucléaire**, produit une intense chaleur qui peut être convertie en électricité dans une centrale nucléaire ! Mais ce procédé comporte des risques intrinsèques : l'emballement de la réaction en chaîne et la dispersion d'atomes radioactifs, les produits de fission, par exemple.

## LE CAS DE L'URANIUM 235

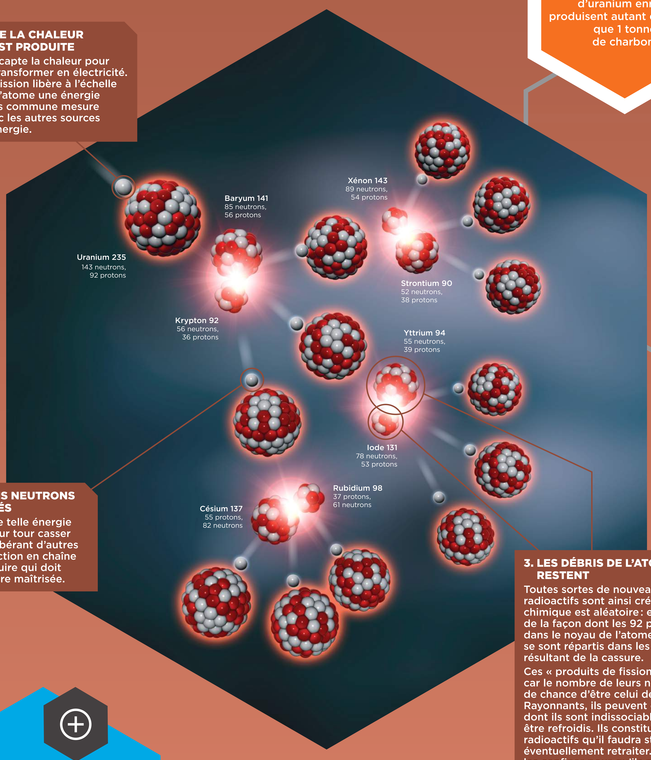
Lorsqu'un noyau d'uranium 235 est bombardé par un neutron, il casse. C'est la fission nucléaire d'un atome qui engendre toujours trois phénomènes :

**1. DE LA CHALEUR EST PRODUITE**

On capte la chaleur pour la transformer en électricité. La fission libère à l'échelle de l'atome une énergie sans commune mesure avec les autres sources d'énergie.

**ÉQUIVALENCE**

10 grammes d'uranium enrichi produisent autant d'énergie que 1 tonne de charbon.




**2. DEUX OU TROIS NEUTRONS SONT PROJETÉS**

Ils le sont avec une telle énergie qu'ils peuvent à leur tour casser d'autres noyaux, libérant d'autres neutrons : une réaction en chaîne peut ainsi se produire qui doit impérativement être maîtrisée.

**3. LES DÉBRIS DE L'ATOME ORIGINEL RESTENT**

Toutes sortes de nouveaux corps radioactifs sont ainsi créés. Leur nature chimique est aléatoire : elle dépend de la façon dont les 92 protons contenus dans le noyau de l'atome d'uranium se sont répartis dans les deux morceaux résultant de la cassure.

Ces « produits de fission » sont radioactifs car le nombre de leurs neutrons a peu de chance d'être celui des corps naturels. Rayonnants, ils peuvent chauffer la matière dont ils sont indissociables et doivent être refroidis. Ils constituent des déchets radioactifs qu'il faudra stocker et éventuellement retraiter. Il faut absolument les confiner pour qu'ils ne s'échappent pas dans l'environnement.

**Dans le cas d'une bombe atomique,**

l'emballement de la réaction en chaîne est recherché afin de produire le maximum de dégâts.

Dans une centrale au contraire, des barres de contrôle et de l'eau borée permettent d'absorber les neutrons afin de contrôler la réaction.

## UN PEU D'HISTOIRE

**1938**
Découverte de la fission nucléaire par l'Allemand Otto Hahn et son assistant Fritz Strassmann avec la contribution d'une physicienne autrichienne, Lise Meitner.

**1948**
Mise en service de la pile Zoé, premier réacteur expérimental français.

**1956**
En France, à Marcoule, mise en service du premier réacteur français (G1) à produire expérimentalement de l'électricité. Réacteur uranium naturel graphite gaz (UNGG).

**1977**
Mise en service du réacteur n° 1 de la centrale de Fessenheim en Alsace, premier réacteur à eau sous pression (REP) d'un vaste programme qui en comprendra 58.

7.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?

# LE FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

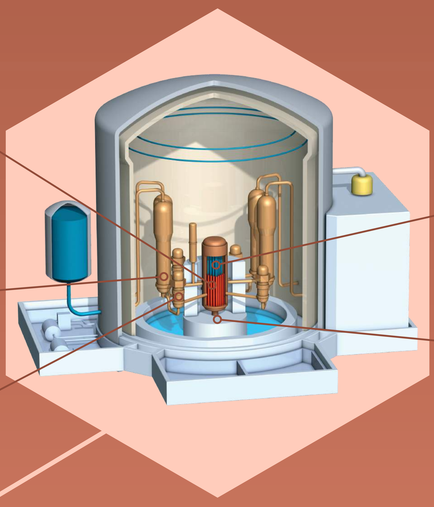
**Sur le principe, un réacteur nucléaire peut être comparé à une gigantesque cocotte-minute. La vapeur d'eau créée par la chaleur de la fission nucléaire entraîne une turbine qui, grâce à l'alternateur, produit de l'électricité.**

## LES HOMMES AUX COMMANDES

Des opérateurs pilotent le fonctionnement de la centrale grâce à des milliers de capteurs. Ils activent des vannes et des pompes.

## REFROIDIR MÊME À L'ARRÊT

Les résidus de la fission continuent à libérer beaucoup de chaleur même lorsque le réacteur est arrêté et qu'il n'y a plus de réaction en chaîne.



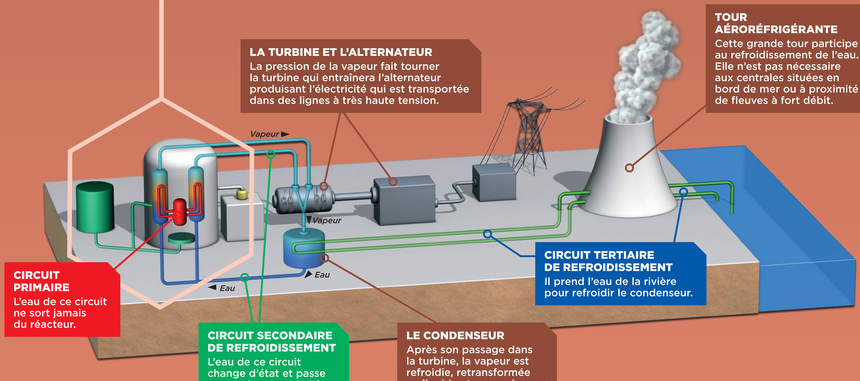
**LE COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE**
Le combustible est placé dans une cuve en acier remplie d'eau. Chaque seconde, des milliards d'atomes cassent en dégageant énormément d'énergie. Cette chaleur chauffe l'eau du circuit primaire qui est portée à plus de 300 °C.

**GÉNÉRATEUR DE VAPEUR**
L'eau brûlante du circuit primaire chauffe celle du circuit secondaire qui est transformée en vapeur.

**POMPES PRIMAIRES**
Elles font circuler l'eau qui refroidit le combustible.

**LA RÉGULATION**
La chaleur produite par le combustible est régulée par les barres de commande. Cela permet d'adapter la production d'électricité à la demande des consommateurs.

**LA CUVE**
Avec ses 20 cm d'épaisseur d'acier, elle emprisonne les 40 tonnes de combustible contenues dans des assemblages de tubes, remplis de pastilles d'oxyde d'uranium.




**LA TURBINE ET L'ALTERNATEUR**
La pression de la vapeur fait tourner la turbine qui entraînera l'alternateur produisant l'électricité qui est transportée dans des lignes à très haute tension.

**TOUR AÉRORÉFRIGÉRANTE**
Cette grande tour participe au refroidissement de l'eau. Elle n'est pas nécessaire aux centrales situées en bord de mer ou à proximité de fleuves à fort débit.

**CIRCUIT PRIMAIRE**
L'eau de ce circuit ne sort jamais du réacteur.

**CIRCUIT SECONDAIRE DE REFROIDISSEMENT**
L'eau de ce circuit change d'état et passe successivement de l'état liquide à l'état gazeux.

**LE CONDENSEUR**
Après son passage dans la turbine, la vapeur est refroidie, retransformée en liquide et renvoyée vers le générateur de vapeur pour un nouveau cycle.

**CIRCUIT TERTIAIRE DE REFROIDISSEMENT**
Il prend l'eau de la rivière pour refroidir le condenseur.

7.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : B2 Infographie, La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

ASN AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE
IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?

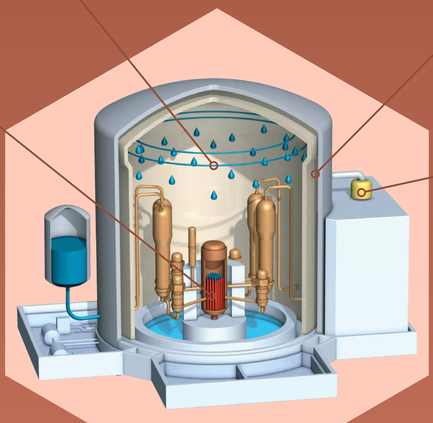
# LA SÛRETÉ D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

**De nombreux systèmes de sûreté obligatoires équipent une centrale afin de réduire les risques d'accident grave et d'en limiter les conséquences.**

**FAIRE BAISSER LA PRESSION EN CAS D'ACCIDENT**
En fonctionnement, l'eau est à 155 bars.
S'il y a une fuite, la pression monte dans le bâtiment du réacteur et pourrait conduire à la perte de l'étanchéité.
Dans ce cas, un circuit d'eau froide se déclenche, faisant baisser la pression en aspergeant le réacteur de fines gouttelettes.

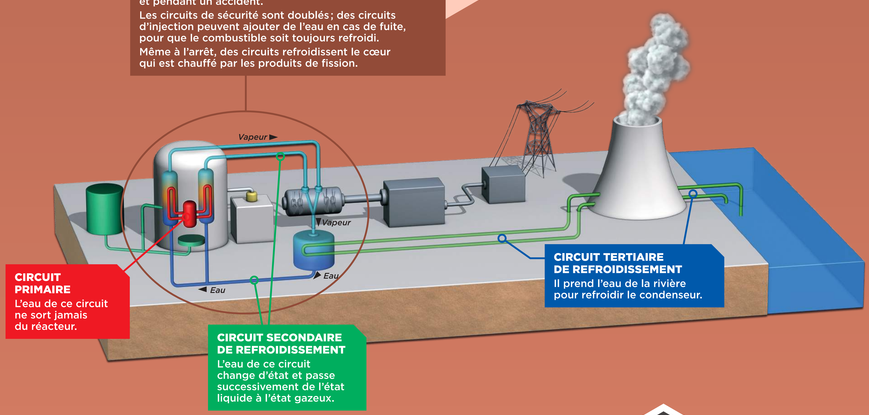
**CONFINER LES PRODUITS DE FISSION RADIOACTIFS**
Les gaines de métal qui entourent le combustible et le circuit primaire (dont la cuve du réacteur) forment deux barrières.
De plus, le bâtiment du réacteur lui-même sert de troisième barrière.
Sur les réacteurs de 900 MW, cette barrière est constituée d'une enceinte en béton précontraint pourvue d'une peau en acier.
Sur les réacteurs plus puissants, une double paroi de béton assure l'étanchéité.

**CONTRÔLER LA RÉACTION EN CHAÎNE**
Des barres de contrôle et de l'eau borée permettent de contrôler la réaction en chaîne.
Les barres arrêtent immédiatement le réacteur en cas de dysfonctionnement ou de séisme.



**DÉPRESSURISER EN CAS D'ACCIDENT**
Si une trop forte pression menace l'étanchéité du bâtiment, on le dépressurise en ouvrant ce circuit.
C'est l'ultime recours car il rejette les produits de fission dans l'environnement par une cheminée après les avoir filtrés.

**REFROIDIR POUR ÉVITER LA FUSION DU CŒUR**
La centrale est équipée pour assurer un refroidissement continu du combustible en fonctionnement, à l'arrêt et pendant un accident.
Les circuits de sécurité sont doublés ; des circuits d'injection peuvent ajouter de l'eau en cas de fuite, pour que le combustible soit toujours refroidi.
Même à l'arrêt, des circuits refroidissent le cœur qui est chauffé par les produits de fission.




**CIRCUIT PRIMAIRE**
L'eau de ce circuit ne sort jamais du réacteur.

**CIRCUIT SECONDAIRE DE REFROIDISSEMENT**
L'eau de ce circuit change d'état et passe successivement de l'état liquide à l'état gazeux.

**CIRCUIT TERTIAIRE DE REFROIDISSEMENT**
Il prend l'eau de la rivière pour refroidir le condenseur.

**ALIMENTER L'ENSEMBLE DES SYSTÈMES DE SÛRETÉ**
Des groupes électrogènes de secours permettent de faire fonctionner les pompes, les instruments de mesure et les vannes en cas de panne d'électricité.

## DEPUIS L'ACCIDENT DE FUKUSHIMA

En France, les experts de l'IRSN ont préconisé l'adjonction de nouveaux systèmes de sûreté : « le noyau dur ».

Sur la base de ces recommandations, l'ASN a imposé l'installation de nouveaux équipements dans les centrales : centres de gestion de crise « bunkerisés », groupes électrogènes de secours supplémentaires…

Par ailleurs, EDF s'est dotée d'une Force d'action rapide du nucléaire (FARN) devant intervenir dans un site en situation d'accident pour retrouver les moyens en eau, air et électricité en moins de 24 heures.

7.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : B2 Infographie, La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?

# DES CENTRALES ET DES HOMMES

**Près de 30 000 personnes travaillent dans les centrales nucléaires en France. De plus, 300 000 emplois y sont liés, directement ou indirectement.**

## L'HOMME AU CŒUR DE LA SÛRETÉ

Toutes sortes de métiers sont impliquées : robinetiers, ingénieurs, électriciens, opérateurs de conduite, etc. La prise en compte des facteurs organisationnels, sociaux et humains est donc cruciale.

Management, formation, documents et méthodes de travail sont au cœur des préoccupations. Par exemple, chaque opérateur est formé pendant deux ans à la conduite des réacteurs et retourne chaque année en stage où il révise la conduite en cas d'accident.

Dans les centrales nucléaires, l'inspection du travail est assurée par l'ASN.





## LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS DU NUCLÉAIRE

Les travailleurs du nucléaire sont plus exposés aux rayonnements que les autres citoyens. La limite légale de dose de radioactivité qu'ils peuvent recevoir chaque année est fixée à 20 millisieverts au lieu de 1 millisievert pour le grand public.

Ils portent des dosimètres pour les avertir des doses ambiantes et calculer la dose reçue. Ils passent des visites médicales régulièrement.

Les études épidémiologiques faites sur la santé du personnel du CEA, d'EDF et d'Orano montrent qu'ils ont une santé équivalente à celle du personnel des grandes entreprises françaises.

## LES RISQUES LIÉS À LA MALVEILLANCE

Les installations nucléaires et les transports de substances radioactives peuvent être la cible d'actes de malveillance. Les installations sont protégées par :

- la lutte antiterroriste, la sécurité des avions, les interdictions de survol des sites nucléaires ;
- le renforcement des infrastructures et bâtiments ;
- la mise en place de procédures et moyens d'intervention permettant de limiter les conséquences possibles d'une attaque.

Ces sujets sont examinés par le Haut fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère de l'Énergie, avec l'appui de l'IRSN.

## LA SOUS-TRAITANCE

Les travaux réalisés sur les sites nucléaires sont assurés à 80 % par des prestataires. Par exemple, lors des travaux de maintenance sur une centrale, dénommés les « arrêts de tranche », au cours desquels les réacteurs sont temporairement arrêtés, environ un millier de personnes réalisent plus de 10 000 interventions, organisées et planifiées par EDF.

Les sous-traitants sont formés à la radioprotection. Les contrôles et les vérifications font partie des règles de qualité.



## EN DÉBAT
## LA SOUS-TRAITANCE ET L'EXPLOITATION

**Les sous-traitants disent qu'ils sont exposés à 80 % des doses reçues pendant la maintenance, alors qu'ils ne bénéficient pas du même suivi médical du fait de leurs nombreux déplacements, ni des mêmes avantages que le personnel des exploitants nucléaires pour lesquels ils travaillent.**

**Le nombre de niveaux de sous-traitance a inquiété les autorités : jusqu'à 7 niveaux de sous-traitance ont pu être rencontrés.**

**Les exploitants estiment que pour les travaux sur les pompes, les vannes, les automatismes…, le savoir-faire des sous-traitants est indispensable.**

**Depuis, des règles ont été imposées. La sous-traitance a notamment été limitée à 3 niveaux. De plus, l'exploitant doit conserver la maîtrise des opérations qu'il sous-traite.**

**BILAN ANNUEL**

de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants en France.

7.6 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Olivier Guerrin/Médiathèque IRSN, Florence Levillain/Signatures/Médiathèque IRSN, Jean-Marie Huron/Signatures/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**LES CENTRALES** SONT-ELLES SÛRES ?

# LES CONTRÔLES À CHAQUE ÉTAPE DE LA VIE D'UNE CENTRALE

**De la conception jusqu'au démantèlement, la vie d'une centrale est régie par un ensemble de procédures strictes.**

## ÉTAPE 1 : LA CONSTRUCTION

Dès la conception de l'installation, l'ASN et l'IRSN vérifient que tous les scénarios d'accidents possibles sont pris en compte (rupture de tuyau, panne de vannes ou de pompes, perte d'électricité…), y compris ceux liés à des agressions externes (tremblement de terre, inondation…).

Ils vérifient que les dispositifs et équipements de secours prévus dans la démonstration de sûreté sont capables d'éviter les conséquences des accidents.

Lorsque l'installation est construite, l'ASN et l'IRSN vérifient que ce qui est réalisé est conforme à ce qui a été prévu dans la démonstration de sûreté et que les tests avant mise en service sont concluants.

## ÉTAPE 2 : L'EXPLOITATION

Lorsque l'installation est mise en service, l'ASN et l'IRSN vérifient que la conduite et l'entretien de l'exploitation sont conformes aux procédures. L'ASN et l'IRSN analysent l'activité de l'exploitant et les incidents déclarés.

Les installations font l'objet d'inspections régulières de la part de l'ASN. Tous les 10 ans, lors des réexamens périodiques, l'ASN et l'IRSN s'assurent par ailleurs que l'installation est en conformité avec les exigences de sûreté en imposant de nombreux contrôles comme la mise en pression du bâtiment du réacteur pour vérifier son étanchéité. À cette occasion, les exigences de sûreté sont revues à la hausse.





Construction du réacteur EPR de Flamanville.



Contrôle de la centrale du Tricastin.

## ÉTAPE 3 : LE DÉMANTÈLEMENT

Une fois la période d'exploitation terminée, il s'ensuit un processus de déconstruction étroitement surveillé qui dure une trentaine d'années :

1. les combustibles sont retirés et les circuits d'eau vidangés ;
2. les installations sont partiellement démontées : les principaux composants du circuit primaire sont isolés et enfermés dans des structures en béton ;
3. environ 10 ans plus tard, le temps de réduire sa radioactivité, l'installation est complètement démontée. Les matériaux et équipements radioactifs sont évacués. Le site est remis dans son état initial ou utilisé pour une autre installation.

### DES CONTRÔLES RÉGULIERS

À tout moment, de nouveaux travaux peuvent être exigés par l'ASN pour améliorer le niveau de sûreté en prenant en compte le retour d'expérience national et international. Par exemple, de nouveaux dispositifs ont été installés pour limiter le risque d'explosion lié à l'hydrogène ou pour piéger les atomes de césium rejetés en cas d'accident.

En fonctionnement normal, les rejets des installations dans l'environnement sont strictement encadrés par l'ASN.

L'IRSN fait des mesures dans l'environnement proche de l'installation dans l'air, l'eau et les produits agricoles pour vérifier le niveau de radioactivité.

### CHACUN SON RÔLE

**L'EXPLOITANT (Orano, CEA, EDF)**

Il demeure le premier responsable de la sûreté de son installation.

**L'ASN (Autorité de sûreté nucléaire)**

Elle est chargée de contrôler, d'autoriser et de réglementer la sûreté des installations.

**L'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire)**

Il est responsable de l'évaluation scientifique et technique de la sûreté mise en œuvre par les exploitants. Il apporte notamment son appui technique à l'ASN.

7.7 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : ASN, ASN/N. Robin
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

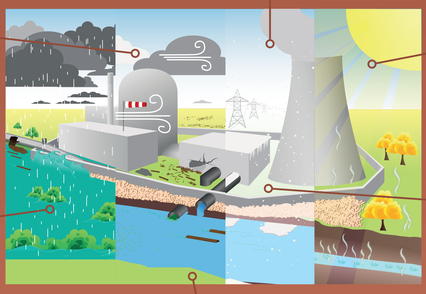
LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?

# LA PROTECTION CONTRE LES RISQUES NATURELS

**Une centrale nucléaire possède des systèmes de sûreté permettant de faire face aux risques naturels.**

## LES RISQUES NATURELS

Les centrales nucléaires doivent résister à des agressions naturelles variées. Pour chacune d'elles, il faut évaluer les niveaux d'agression exceptionnels et vérifier que l'installation pourra y faire face sans provoquer d'accident nucléaire ou de rejet de radionucléides dans l'environnement.




## DES PROTECTIONS ADAPTÉES

Les phénomènes naturels peuvent dégrader les matériels importants pour la sûreté des centrales ou les bâtiments qui protègent ces matériels. Par exemple, une inondation peut entraîner une entrée d'eau dans les locaux de la centrale susceptible de provoquer la défaillance des matériels situés dans ces locaux. Elle peut aussi rendre difficile l'accès au site et dégrader les alimentations électriques externes de la centrale. Ou encore, lors de vents extrêmes, des projectiles peuvent endommager les structures et bâtiments ou les matériels situés à l'extérieur.

La protection des centrales face à ces risques est assurée par des dispositions matérielles (digues, structures renforcées, grilles ou filets anti-projectiles…) ou organisationnelles (systèmes d'alerte météorologiques, rondes de surveillance…).

Les mesures de protection des centrales vis-à-vis des agressions naturelles sont notamment réévaluées tous les 10 ans lors des réexamens périodiques.

### D'AUTRES RISQUES NATURELS

D'autres risques naturels (neige, grêle, foudre…) sont également pris en compte, en vérifiant la tenue des structures et bâtiments et la disponibilité des matériels nécessaires à la sûreté de l'installation et, si besoin, en mettant en place des dispositions de protection dédiées.

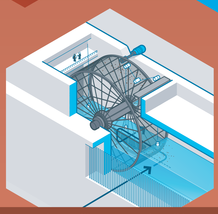
La station de pompage, qui prélève l'eau nécessaire au refroidissement de la centrale, est également protégée contre des phénomènes risquant d'obstruer le transit ou de dégrader la qualité de l'eau tels que la prise en glace, l'ensablement/envasement ou encore le colmatage par des végétaux, poissons, méduses…

### COMMENT LE RETOUR D'EXPÉRIENCE EST-IL PRIS EN COMPTE ?

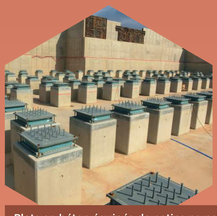
Les événements nationaux et internationaux sont pris en compte systématiquement. L'accident de Fukushima au Japon a par exemple conduit à définir des niveaux de séisme et d'inondation complémentaires, majorés par rapport aux référentiels existants en 2011.

En France, plus récemment, le séisme du Teil survenu en Ardèche en 2019 a entraîné l'arrêt des réacteurs de la centrale de Cruas par mesure de précaution. Après contrôles, l'ASN a autorisé leur redémarrage. L'analyse des données et des travaux de recherche sur cet événement permettront de tirer des enseignements scientifiques pour améliorer la sûreté des centrales dans les années à venir.

Plus d'infos



Des tambours filtrants sont installés en amont des circuits de refroidissement des centrales, ils permettent de filtrer les éléments qui pourraient colmater les prises d'eau.



Plots en béton équipés de patins parasismiques. Les patins sont constitués de caoutchouc et de métal. Ils peuvent absorber les accélérations et les cisaillements associés aux mouvements du sol lors d'un séisme.

## LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les effets des changements climatiques s'observent déjà et vont se poursuivre dans les années à venir, pouvant modifier la fréquence et l'intensité des phénomènes naturels.

Lorsque les connaissances scientifiques le permettent, les effets des changements climatiques sur les phénomènes météorologiques et hydrologiques sont pris en compte. C'est notamment le cas pour l'augmentation des niveaux marins ou des vagues de chaleur.

Les changements climatiques peuvent également avoir un effet sur le débit des cours d'eau qui alimentent les centrales en eau. Le risque d'un débit faible (étiage) est évalué à la conception afin de s'assurer que, même en cas de canicules prolongées, il restera assez d'eau pour refroidir les réacteurs. Au-delà du risque pour la sûreté qui est évalué par l'IRSN, ce sujet touche aussi d'autres questions, comme la protection de la flore et de la faune du cours d'eau qui peut conduire à arrêter des réacteurs lorsqu'ils augmentent trop la température de l'eau, mais également le partage des usages de l'eau.

### EN SAVOIR PLUS SUR

- **LE SÉISME**
  **La prise en compte du risque sismique pour les sites des installations nucléaires (irsn.fr)**
- **L'INONDATION ET LES ALÉAS CLIMATIQUES**
  **Risques liés aux aléas climatiques (irsn.fr)**

7.8 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : IRSN/Romain Grimaldi, Antoine Dagan/Spécifique/IRSN – Photo : @F4E
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

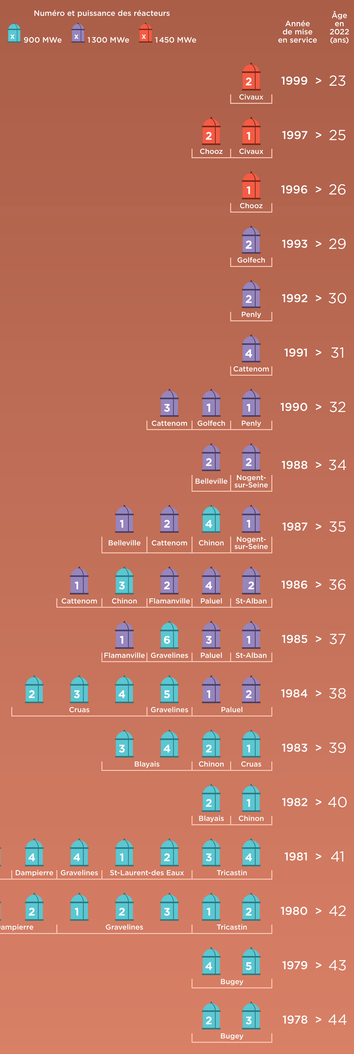
IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?

# LE VIEILLISSEMENT DES INSTALLATIONS

**Comme toute autre installation industrielle, les centrales nucléaires sont sujettes au vieillissement. Il est nécessaire d'en maîtriser les risques.**

EN DÉBAT




## L'ÉTAT GÉNÉRAL DES CENTRALES FRANÇAISES

Après chaque réexamen périodique, l'ASN fixe les conditions nécessaires à la poursuite de l'exploitation pour 10 ans supplémentaires. Une centrale peut être arrêtée pour des raisons de sûreté, par exemple si l'exploitant détecte un problème grave ou considère que les travaux demandés sont trop coûteux.

Une majorité de réacteurs français ont été construits entre 1977 et 1984. L'apparition de défauts génériques graves sur des matériels pourrait causer l'arrêt en chaîne de nombreuses centrales dans un temps relativement court.

## QUELLE EST LA DURÉE DE VIE D'UNE CENTRALE ?

Dans certains pays, les autorisations d'exploitation des centrales nucléaires sont données pour une durée limitée. Aux États-Unis, par exemple, cette durée était de 40 ans puis elle a été portée à 60 ans pour la majorité des réacteurs et à 80 ans pour quelques autres réacteurs.

Dans d'autres pays comme la France, l'autorisation d'exploiter une installation nucléaire ne précise aucune limite dans le temps. Mais en contrepartie, les centrales sont soumises tous les 10 ans à un réexamen périodique approfondi. Son but est de vérifier la sûreté et d'apporter des améliorations techniques.

Toutefois, l'ASN considère que la poursuite du fonctionnement des réacteurs d'EDF au-delà de 40 ans n'est envisageable que si elle est associée à un programme ambitieux d'amélioration. Elle insiste pour que les objectifs de sûreté tendent vers ceux des nouveaux réacteurs, tel l'EPR.

## MAÎTRISE-T-ON L'USURE DES MATÉRIAUX ?

Dans un réacteur nucléaire, la cuve, l'enceinte de confinement et certains câbles électriques sont des composants irremplaçables malgré leur dégradation dans le temps.

L'IRSN étudie les principaux mécanismes de dégradation : altération du béton de l'enceinte de confinement, évolution des défauts des aciers de la cuve, oxydation des gaines des câbles. Ces mécanismes sont pris en compte dès la conception et la fabrication puis dans un programme de maintenance préventive. Le but est de garder une image précise de l'état des matériaux et de rester maître du risque lié au vieillissement.

## LES MATÉRIELS PEUVENT-ILS SE PÉRIMER ?

Les matériels importants pour la sûreté font l'objet d'une qualification : leur tenue et leur fonctionnement sont vérifiés dans les conditions d'un accident. Ils sont soumis à une maintenance périodique qui veille au remplacement des pièces et au maintien de leur fiabilité.

L'arrêt de la fabrication de certains composants ou la disparition de leur constructeur peuvent conduire à des difficultés, c'est pourquoi l'exploitant doit être en mesure de remplacer la pièce.

Toutefois, le remplacement par un nouveau modèle ou un nouveau fournisseur doit faire l'objet d'une qualification préalable.

7.9 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : Kazoar
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE
IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?

# LE DÉMANTÈLEMENT

**Même arrêtée définitivement, une centrale nucléaire continue de présenter des risques. Il faut la démanteler selon un scénario bien précis.**

## LES ENJEUX SPÉCIFIQUES DU DÉMANTÈLEMENT D'UNE CENTRALE

Lors du démantèlement d'une centrale nucléaire, l'ASN veille en particulier à :

### LA PROTECTION DES TRAVAILLEURS

Les scénarios sont élaborés pour protéger les travailleurs. Si le risque d'exposition est trop fort, le travail se fait à distance grâce à des robots.

### LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Les déchets sont produits en quantité plus importante que lors de la phase d'exploitation et sont de nature différente car les équipements et structures sont activés ou contaminés. Le moment venu, les filières doivent être disponibles pour les évacuer.

### LA DISPONIBILITÉ DES MOYENS FINANCIERS

Il faut assurer la disponibilité du budget nécessaire au démantèlement.

**Pourquoi ne pas attendre que la radioactivité disparaisse ?**

L'ASN recommande que l'exploitant nucléaire procède au démantèlement de son installation le plus rapidement possible après sa mise à l'arrêt.

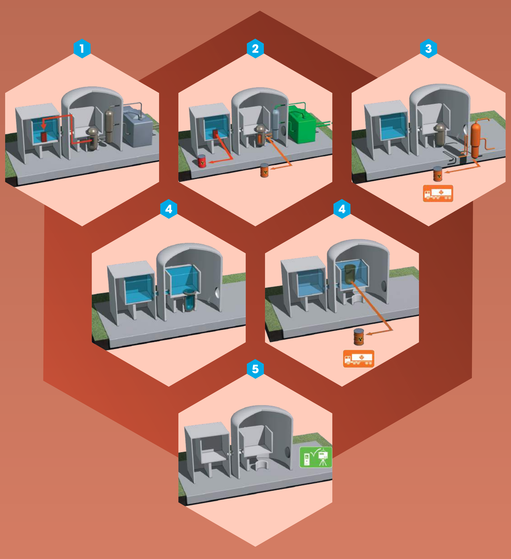
Une période d'attente contribue certes à une diminution de la radioactivité par décroissance, mais comporte des inconvénients : vieillissement des structures, perte éventuelle de confinement, perte des connaissances techniques, charge du démantèlement sur les générations futures.

**La durée et le coût d'un démantèlement**

La durée minimale totale du démantèlement d'une centrale est estimée à une vingtaine d'années.

En raison du manque de retour d'expérience, les coûts sont encore mal estimés. De plus, les méthodes de calcul peuvent être très différentes.

## SCÉNARIO ET TEMPORALITÉS D'UN DÉMANTÈLEMENT SOUS EAU D'UN RÉACTEUR (stratégie choisie pour le réacteur A de Chooz)




### 1. MISE À L'ARRÊT DÉFINITIF

Le combustible est déchargé du cœur du réacteur. Il va refroidir pendant quelques années dans la piscine d'entreposage.

### 2. ENVIRON 2 ANS APRÈS

Le combustible est envoyé à l'usine de La Hague pour traitement. L'eau du circuit primaire est vidangée. Le circuit de vapeur d'eau et la turbine sont démontés.

### 3. ENVIRON 5 ANS APRÈS

Les opérations de démontage commencent dans le bâtiment du réacteur, hormis pour la cuve du réacteur.

### 4. ENVIRON 10 ANS APRÈS

La cuve du réacteur est noyée afin de limiter les radiations pendant les opérations de démantèlement sur la cuve du réacteur. Puis la cuve et les structures internes du réacteur sont démantelées.

### 5. DE 20 À 30 APRÈS

Le site est assaini : soit les bâtiments sont conservés pour un éventuel usage ultérieur identifié, soit ils sont détruits.

## LES DÉMANTÈLEMENTS EN COURS

Les opérations de démantèlement diffèrent selon le type de réacteur.

Carte des démantèlements en cours.

## LE COÛT DU DÉMANTÈLEMENT

**Un récent rapport de la Cour des comptes montre que le coût effectif du démantèlement dépasse les prévisions initiales.**

**Certaines associations s'inquiètent du coût final du démantèlement et de son financement.**

**Malgré l'expérience acquise au cours du démantèlement du réacteur à eau pressurisée (REP) de Chooz A, la France n'a pas encore l'expérience d'un démantèlement complet sur les réacteurs à eau pressurisée (REP).**

**Cependant, EDF intègre dans le prix du kilowatt-heure le coût estimé du démantèlement.**

7.10 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : B2 infographie
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?

# LES CENTRALES DE DEMAIN

**Afin d'atteindre des objectifs plus ambitieux en matière de sûreté, de sécurité et d'économie de ressources, l'offre de centrales nucléaires est appelée à se diversifier au niveau mondial. Si certaines technologies sont déjà disponibles, d'autres sont encore à l'étude et pourraient voir le jour dans les années à venir.**

## DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES À DIFFÉRENTES ÉCHELLES DE TEMPS…

Dans le monde, plusieurs générations (technologies et versions) de réacteurs nucléaires se sont succédé au fil du temps. Par exemple, en France, la première génération de réacteurs nucléaires de la filière UNGG (uranium naturel modéré au graphite et refroidi au gaz) a été conçue dans les années 1950 et 1960. Ils sont aujourd'hui tous en cours de démantèlement.

La seconde génération correspond au parc nucléaire de réacteurs à eau sous pression actuellement en exploitation en France.

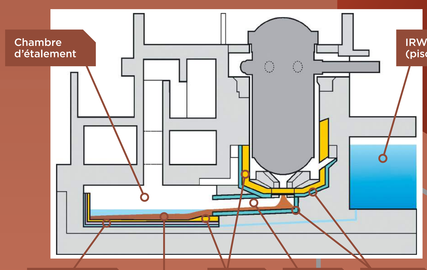
Le réacteur EPR en construction à Flamanville est dit « de troisième génération ».

Des prototypes sont déjà en cours de construction qui préfigurent les centrales de demain. D'autres technologies sont encore en phase de recherche : on parle parfois de quatrième génération.

### LES RÉACTEURS DE 4E GÉNÉRATION

Réacteurs à neutrons rapides, réacteur à haute température (HTR-PM), voire à très haute température (VHTR), réacteur rapide à sels fondus… les concepts de réacteurs de 4e génération sont nombreux !

Vue latérale du récupérateur de corium d'un réacteur EPR




### L'EPR

L'EPR *(European Pressurized Reactor)* est un réacteur « évolutionnaire » puissant (1600 MWe) qui ne présente pas de grande rupture technologique par rapport aux installations en exploitation. Néanmoins, ce réacteur de 3e génération offre des améliorations significatives des systèmes de sûreté, notamment quatre voies pour les circuits d'eau importants pour la sûreté (contre deux dans les réacteurs en exploitation) capables de fonctionner de manière indépendante et réparties dans quatre bâtiments différents.

C'est le premier réacteur français à bénéficier dès sa conception des enseignements tirés des accidents nucléaires de Three Mile Island (États-Unis), de Tchernobyl (Ukraine) et Fukushima (Japon), ainsi que du retour d'expérience des réacteurs en fonctionnement.

Il est doté d'un récupérateur de corium permettant de refroidir le cœur fondu en cas d'accident grave et sa conception a pris en compte une exigence accrue en matière de radioprotection de l'Homme.

Enfin, les bâtiments qui abritent le réacteur, la salle de commande et le stockage du combustible sont recouverts d'une enveloppe de béton suffisante pour résister aux chutes d'avion.

## … ET DE TAILLE

Les réacteurs nucléaires producteurs d'électricité sont de tailles et de puissances électriques variées, depuis l'EPR (1650 MWe) jusqu'au SMR (de 10 à 300 MWe)… voire au microréacteur (10 MWe) !

### LES PETITS RÉACTEURS MODULAIRES

Les réacteurs nucléaires compacts sont utilisés depuis des décennies pour la propulsion navale. Pourtant, une nouvelle génération de petits réacteurs suscite un engouement ces dernières années à travers le monde : les *« Small Modular Reactors »* (SMR). Ces réacteurs ont une puissance inférieure à 300 MWe (1600 MWe pour un EPR).

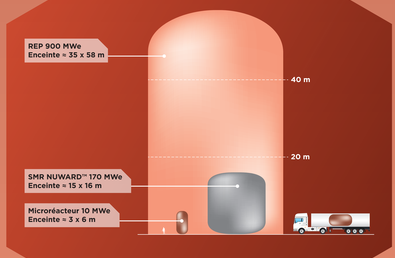
Construits à partir de modules élémentaires fabriqués dans des usines dédiées et transportés par voies routière ou fluviale, les SMR sont assemblés sur le site d'exploitation. Les concepts sont nombreux (plus de 70) et reposent sur différentes technologies et générations des réacteurs.

Leur petite taille et leur faible puissance leur confèrent une plus grande sûreté. En cas d'incident ou d'accident, ils permettent d'amener le réacteur en état d'arrêt sûr et de l'y maintenir pendant une longue période sans intervention humaine.





Chaudière et enceinte NUWARD™ dans la vue d'ensemble du bâtiment nucléaire principal.




Encore plus petits que les SMR, les microréacteurs ont une puissance inférieure à 10 MWe (l'équivalent de 1 tonne de pétrole par heure). Extrêmement compacts, ils peuvent être facilement déplacés et intégrés dans des espaces très limités et utilisés dans des situations très particulières (alimentation électrique de territoires isolés, de modules spatiaux ou de base militaire en opération, intervention en situation de crise…).

### Et au-delà de l'électricité domestique…

La chaleur produite par les réacteurs nucléaires peut être utilisée pour autre chose que la production d'électricité : dessalement de l'eau de mer, chauffage urbain, procédés industriels très gourmands en énergie (chimie, papier, aciéries).

Leur utilisation peut aussi être considérée pour apporter des solutions aux besoins croissants locaux d'électricité comme l'alimentation des *data centers* de plus en plus nombreux !

7.11 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : Georges Goué/Médiathèque IRSN, Nuward/EDF, Kazoar
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?

# LA FUSION NUCLÉAIRE

**La fusion est le phénomène à l'œuvre dans les étoiles, comme notre soleil.**

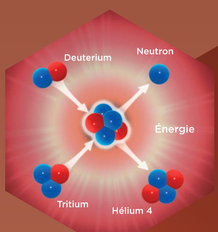
## LA FUSION, ÇA FONCTIONNE COMMENT ?

Dans le processus de fission, on casse des atomes lourds en plusieurs morceaux en les bombardant de neutrons.

Dans le processus de fusion, c'est l'inverse qui se produit : on comprime la matière avec une telle force que deux atomes légers s'assemblent en un seul atome plus lourd.

Les deux processus physiques libèrent de l'énergie mais la réaction de fusion a le double avantage théorique :

- de ne pas engendrer de sous-produits radioactifs de haute activité à vie longue ;
- d'utiliser un carburant qui peut être extrait de l'eau, une ressource très abondante. Néanmoins, le processus d'extraction du tritium étant très coûteux, des systèmes produisant du tritium sous le bombardement neutronique (comme les « couvertures tritigènes ») sont à l'étude.



Processus de fusion

## PRODUIRE LA RÉACTION FUSION

Les réactions de fusion nucléaire ont naturellement lieu au cœur des étoiles, comme dans le soleil, à des pressions et des températures extrêmes (de l'ordre de 200 milliards de fois la pression atmosphérique terrestre et de 150 millions de degrés Celsius). Dans ces conditions, la matière se présente sous forme d'un plasma : les noyaux et électrons les entourant ne sont plus liés.

Pour reproduire et contrôler ce processus de fusion sur Terre, il est donc nécessaire de pouvoir atteindre des pressions et températures élevées. Deux technologies sont possibles :

- **le confinement magnétique :** à l'intérieur d'un tokamak, le plasma, créé par un courant très puissant ainsi que des systèmes de chauffage additionnels, est « piégé » dans un champ magnétique créé par des bobines. Le combustible utilisé est un mélange d'isotopes de l'hydrogène ;
- **le confinement inertiel :** les conditions de température et de pression très élevées sont fournies par des lasers disposés autour du combustible, confiné dans un très petit volume. La pression exercée par les lasers et la chaleur produite permettent au combustible de devenir un plasma.

## LE LONG CHEMIN VERS L'INDUSTRIALISATION

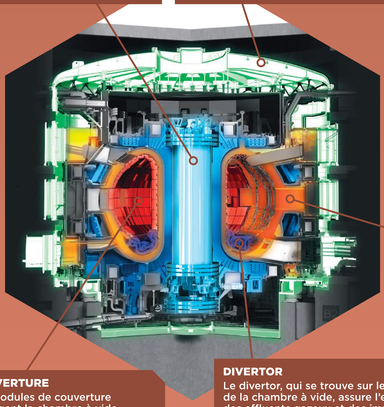
La production d'électricité à grande échelle via la fusion nucléaire présente encore des verrous technologiques importants :

- le bilan entre l'énergie libérée et l'énergie fournie doit être positif. En effet, contrairement à la fission qui est entretenue par la réaction en chaîne, il faut apporter dans la fusion énormément d'énergie pour rapprocher les atomes les uns des autres ;
- la fusion doit perdurer. Le plasma présente de nombreuses instabilités intrinsèques : jusqu'à présent, le bilan positif a été maintenu pendant seulement quelques minutes.

### TOKAMAK DU PROJET ITER

**AIMANTS**
Le champ magnétique généré par 10 000 tonnes d'aimants supraconducteurs sera nécessaire pour confiner et modeler le plasma à l'intérieur de la chambre à vide.

**CRYOSTAT**
Le cryostat est une grande structure en acier inoxydable (29 m x 29 m) qui enveloppe la chambre à vide et les aimants supraconducteurs, délimitant un environnement sous vide extrêmement froid.



**CHAMBRE À VIDE EN FORME DE TORE**
La chambre à vide est une enceinte étanche en acier inoxydable dans laquelle se produiront les réactions de fusion.

**COUVERTURE**
Les modules de couverture protègent la chambre à vide et les aimants supraconducteurs des neutrons de très haute énergie produits par la réaction de fusion.

**DIVERTOR**
Le divertor, qui se trouve sur le « plancher » de la chambre à vide, assure l'extraction des effluents gazeux et des impuretés de la machine, et doit être capable de supporter des charges thermiques de surface très élevées.

### ITER, LE RÉACTEUR THERMONUCLÉAIRE EXPÉRIMENTAL INTERNATIONAL

ITER est un projet international de réacteur nucléaire de recherche civil à fusion nucléaire de type tokamak, situé à proximité immédiate du centre d'études nucléaires de Cadarache à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône, France). Son fonctionnement repose sur le principe de fusion thermonucléaire, alors que les réacteurs actuels utilisent la fission.

Le projet ITER vise à vérifier la faisabilité scientifique et technique de la fusion nucléaire comme nouvelle source d'énergie, dans le but de réaliser dans le futur des réacteurs commerciaux à fusion produisant de l'énergie électrique. Des chercheurs travaillent actuellement sur différents projets de recteurs à fusion (projet européen DEMO par exemple).

Le projet associe de nombreux pays : ceux de l'Union européenne ainsi que l'Inde, le Japon, la Chine, la Russie, la Corée du Sud, les États-Unis, la Suisse et le Royaume-Uni.

## EN DÉBAT LA FUSION EST-ELLE PROPRE ?

**Un réacteur à fusion ne produirait donc pas les mêmes déchets nucléaires que les centrales actuelles (produits de fissions, actinides, etc.) mais des déchets tritiés de plus faible activité et de moins longue durée de vie.**

**La réaction de fusion nécessite du tritium, corps radioactif. Même si la réaction de fusion nécessite peu de combustible (quelques grammes de tritium), environ 4 kg de tritium seront présents dans l'installation ITER. Les neutrons activent les structures métalliques du tokamak. Ces structures activées sont une source de déchets qui s'ajoutent aux déchets tritiés. Le volume total de déchets sera plus important que celui d'un réacteur actuel mais n'aura pas une haute activité. Par ailleurs, ces structures métalliques activées conduisent à des débits de dose tels que toute intervention humaine est impossible, ce qui implique la robotisation des opérations de maintenance.**

7.12 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois, @iter.org
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE
IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# L'ACCIDENT NUCLÉAIRE





8.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Guillaume Bression/Fabien Recoquillé/Médiathèque IRSN, Arnaud Bouissou/MEDDE/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

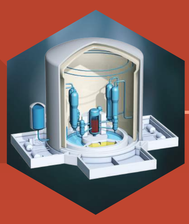
IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

# DE L'INCIDENT À L'ACCIDENT, UN ENCHAÎNEMENT REDOUTÉ

**L'accident le plus grave qui puisse survenir dans une centrale est la fusion du combustible et le rejet de particules radioactives dans l'environnement. Quelle cascade d'événements faut-il pour déclencher une catastrophe comme celle de Fukushima ? La sûreté nucléaire, c'est aussi connaître cet enchaînement et chercher à l'enrayer.**

## L'ENCHAÎNEMENT DES ÉVÉNEMENTS



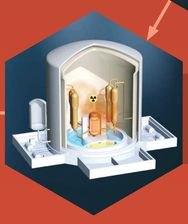
Une panne dans le circuit de refroidissement se produit.
Au moindre problème, la réaction en chaîne au sein du réacteur est arrêtée par des barres de contrôle.
Malgré tout, le combustible continue à chauffer et il faut impérativement le refroidir.



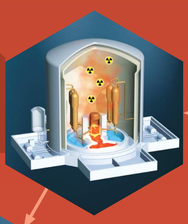
Les circuits de refroidissement de secours entrent en action (réservoir extérieur).



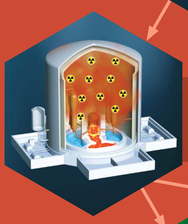
Les systèmes de refroidissement de secours ne fonctionnent plus parce qu'il n'y a plus d'eau ou plus d'électricité.



**360 °C**
La température du combustible monte.
Les gaines en zircaloy se corrodent et dégagent de l'hydrogène.
De la vapeur d'eau envahit le bâtiment du réacteur, qui monte en pression.



**2 000 °C**
Les pastilles de combustible chauffent, fondent et, en se mélangeant avec des éléments de structure du réacteur, forment peu à peu du corium, une sorte de magma à plus de 2 000 °C qui peut percer la cuve et s'écouler dans le bâtiment du réacteur.



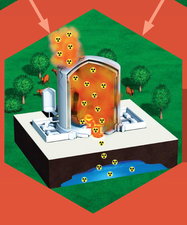
Pendant la montée en température, l'hydrogène continue à être dégagé et les produits de fission s'échappent dans le bâtiment du réacteur.
La pression monte. Il y a un risque de perte d'étanchéité.



En cas de perte d'étanchéité non anticipée et de dégradation du bâtiment, les produits radioactifs se dispersent dans l'atmosphère formant un panache invisible, emporté par le vent ou étalé sur le sol par la pluie.



La pression dans le bâtiment risquant de le faire exploser, on le dépressurise volontairement et des produits radioactifs sont alors dispersés, de façon contrôlée et filtrée, dans l'atmosphère.



Le corium peut percer la dalle du bâtiment du réacteur.
Il peut alors atteindre le terrain sous la centrale, voire se répandre dans la nappe phréatique.

8.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

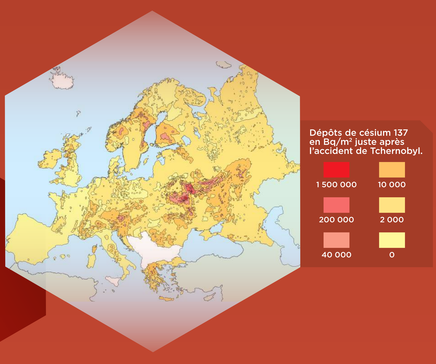
# LES CONSÉQUENCES DE L'ACCIDENT NUCLÉAIRE SUR L'ENVIRONNEMENT

**Un accident nucléaire aurait des conséquences sur l'ensemble de l'environnement, engendrant un risque d'exposition à la radioactivité pour la population.**

## LES REJETS ET RETOMBÉES

À la suite de l'accident nucléaire, des produits de fission tels que le césium, l'iode et le strontium peuvent être dispersés dans l'air. Le nuage radioactif va se déplacer au gré des vents et les radionucléides vont se déposer progressivement sur le sol, et ce d'autant plus s'il pleut ou il neige. La météo est donc déterminante lors d'un accident nucléaire et va conditionner l'ampleur de la zone impactée.

Dans le cas de l'accident de Tchernobyl par exemple, le panache a touché l'ensemble de l'Europe, entraînant des dépôts variables selon les régions.






5 ans après l'accident, chantier de décontamination de la Wide Area Farm road, dans la Préfecture de Fukushima.

## LES DÉPÔTS ET LES CONSÉQUENCES À PLUS LONG TERME

Après le passage du panache, les dépôts dans l'environnement peuvent être importants et entraîner une forte contamination des sols. Certains radionucléides, comme le plutonium et l'américium, vont plutôt contaminer la zone proche de l'installation, quand d'autres, comme l'iode 131 et les césiums 134 et 137, seront emportés à plus ou moins longue distance, en fonction des conditions météorologiques, les précipitations ayant tendance à les rabattre vers le sol.

De plus, le ruissellement de la pluie, en entraînant les particules radioactives vers des creux du relief, peut avoir tendance à concentrer localement la radioactivité.

La contamination de l'environnement entraîne une exposition externe de la population d'autant plus forte que les dépôts radioactifs sont importants. Dans certains cas, la zone pourra être interdite et la population éloignée pour un certain temps ou encore des restrictions d'accès pourront être prononcées dans des endroits très contaminés (forêts, etc.).

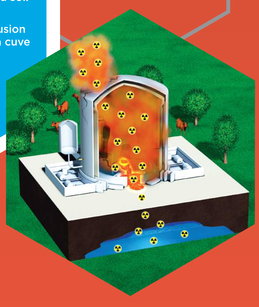
Les dépôts dans l'environnement entraînent également une contamination des denrées et des biens de consommation. Une interdiction de consommation des denrées produites localement et le contrôle avant commercialisation des produits agricoles permettent de protéger la population et le consommateur.

## LES CONSÉQUENCES POUR L'EAU

Au passage du panache, les eaux de pluie et de ruissellement se chargent d'éléments radioactifs présents dans l'air et déposés au sol.

Sous la centrale, la nappe phréatique peut également être menacée en cas de fusion du cœur du réacteur et de percement de la cuve et de la dalle. C'est un des scénarios les plus redoutés en cas d'accident.

Les captages d'eau potable, ainsi que les lieux liés à l'industrie de la pêche et du tourisme sont donc contrôlés avant usage.



8.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Carte : IRSN – Illustration : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois – Photo : Noak/Le bar Floréal/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

# EN CAS D'ALERTE NUCLÉAIRE, JE SAIS QUOI FAIRE !

**L'alerte est déclenchée quand un événement dans une installation nucléaire est susceptible d'entraîner des rejets radioactifs et d'avoir des conséquences sur l'homme et l'environnement.**



## JE ME METS RAPIDEMENT À L'ABRI DANS UN BÂTIMENT

**Je rejoins sans délai mais calmement un bâtiment en dur.**

Si je suis déjà dans un bâtiment, je m'isole de l'extérieur : je ferme les portes et fenêtres et je coupe la ventilation.



## JE ME TIENS INFORMÉ(E)

**J'écoute les consignes de protection des pouvoirs publics** diffusées par la radio (France Bleu, France Info, etc.), la télévision (France Télévisions, etc.) et le site Internet de ma préfecture.

J'utilise une radio à pile et j'ai prévu des piles de rechange.



## JE LIMITE MES COMMUNICATIONS TÉLÉPHONIQUES

**Je ne sature pas les réseaux de communication.**

Ils sont nécessaires à l'organisation des secours et à la transmission d'informations.




## JE NE VAIS PAS CHERCHER MES ENFANTS À L'ÉCOLE

**Je reste à l'abri.**

À l'école, mes enfants sont pris en charge par les enseignants.

J'ai déjà discuté de cela avec les enseignants.




## JE PRENDS DE L'IODE DÈS QUE J'EN REÇOIS L'INSTRUCTION

**La dose d'iode stable doit être prise au bon moment,** j'attends les consignes du préfet.




## JE ME PRÉPARE À UNE ÉVENTUELLE ÉVACUATION

**Je prévois mon kit d'urgence** qui comprend en particulier mes papiers personnels, mes éventuels traitements médicaux, des vêtements, de la nourriture et de la boisson.

Lors de l'évacuation, je respecte les consignes de circulation et j'aide mes proches.

**Consultez les Plans de mise en sûreté en flashant les QR Codes**

Le Plan particulier de mise en sûreté (PPMS)

Le Plan familial de mise en sûreté (PFMS)

8.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

# POURQUOI DES COMPRIMÉS D'IODE ?

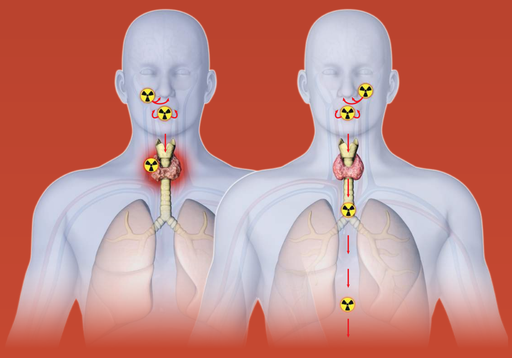
**Un accident sur un réacteur nucléaire peut engendrer un rejet contenant notamment de l'iode radioactif. Respiré ou avalé, l'iode radioactif se fixe sur la glande thyroïde et peut ainsi augmenter le risque de cancer de cet organe, surtout chez les jeunes.**
**Le comprimé d'iode protège la thyroïde.**

## L'IODE, POUR PROTÉGER SA THYROÏDE

### POURQUOI DES COMPRIMÉS D'IODE ?

La thyroïde est un organe essentiel qui permet de réguler de nombreuses fonctions (croissance, développement du système nerveux, fréquence cardiaque, etc.). La thyroïde stocke naturellement l'iode.

En cas de rejets d'iode radioactif, il faut saturer cette glande à l'aide de comprimés d'iode stable, de telle sorte qu'elle n'ait plus de place pour stocker l'iode radioactif.



**ATTENTION**

Le comprimé d'iode n'est pas une panacée contre la radioactivité : il ne protège pas des autres éléments radioactifs (uranium, césium, strontium).

C'est pour cela que d'autres actions de protection sont nécessaires.




Carte des vents dominants moyens en été

## QUE DOIS-JE FAIRE ?

### JE PRENDS DE L'IODE DÈS QUE J'EN REÇOIS L'INSTRUCTION

Si un problème survenait dans une centrale, les experts qui sont en cellule de crise estimeraient assez précisément la quantité des rejets, la localisation et l'heure de leur dispersion dans l'environnement. Ils calculeraient la dose à la thyroïde des habitants qui seraient exposés au panache radioactif.

En France et dans la plupart des pays limitrophes, le seuil à partir duquel il faut protéger la thyroïde est fixé à 50 millisieverts. Lorsque les prévisions des experts dépassent ce seuil, le préfet donne l'ordre de prendre le comprimé.




### IL EST IMPORTANT D'ATTENDRE L'ORDRE DU PRÉFET

Comme la thyroïde fabrique continuellement des hormones, l'organisme recherche sans cesse l'iode dans l'air ou dans la nourriture pour le fournir à la thyroïde.

Si l'on prend le comprimé d'iode trop tôt, il va agir et la thyroïde ne sera plus saturée lorsque les rejets vont se produire.

**TOUT DÉPEND DE LA MÉTÉO**

Les zones affectées par l'accident dépendent largement de la direction du vent et de la pluviométrie.

La carte ci-dessus montre les vents dominants en France sur les plus grandes villes.

Le nombre de personnes concernées dépendra de l'étendue du territoire contaminé et de sa densité de population.

**Évolution de l'iode 131 à Fukushima**

L'iode radioactif rejeté lors d'un accident a une demi-vie de 8 jours environ, au bout de 80 jours il n'y en a plus dans l'environnement.

C'est pourquoi, il est inutile de vouloir prendre des comprimés d'iode si l'on se rend près de Tchernobyl ou Fukushima où les territoires contaminés ne contiennent plus d'iode radioactif depuis longtemps.

8.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois – Carte : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois – Photo : Célia Goumard/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

# LES ACTEURS DE LA GESTION DE CRISE NUCLÉAIRE

**Malgré les précautions prises, un accident nucléaire grave reste possible en France. Ses conséquences peuvent néanmoins être limitées par la mise en œuvre d'actions de protection adaptées. Les citoyens et les pouvoirs publics ont leur rôle à jouer : la culture du risque est l'affaire de tous.**

## LES PARTIES PRENANTES

### LES POUVOIRS PUBLICS SOUS L'ORDRE DU PRÉFET, EN LIEN AVEC LE GOUVERNEMENT

**Le préfet déclenche le Plan Orsec (Organisation de la réponse de la sécurité civile) et le Plan particulier d'intervention (PPI).** Ces plans prévoient l'organisation de l'ensemble des moyens de secours et d'intervention disponibles.

D'autre part, des cellules de crise locales et nationales conjuguent leurs efforts pour limiter les effets sanitaires de l'accident.






### L'ASN

L'ASN a 4 missions essentielles. Elle :

- **contrôle** le bien-fondé des actions menées par l'exploitant ;
- **conseille** les autorités quant aux actions de protection de la population ;
- **informe** la population et les médias ;
- **adresse et reçoit** les notifications et demandes d'assistance internationale.

### L'IRSN

L'IRSN a différentes missions. Il :

- **analyse** la situation à partir des données de l'installation, la **modélise** et **propose** des actions préventives aux pouvoirs publics ;
- **calcule** les rejets possibles, **anticipe** le trajet du panache et **évalue** les doses sur le territoire à partir des données météorologiques ;
- **contribue** à l'information du public.





### L'EXPLOITANT NUCLÉAIRE (en France, Orano, le CEA et EDF)

Le Plan d'urgence interne (PUI) est établi et mis en œuvre par l'exploitant, c'est-à-dire l'industriel responsable de l'installation nucléaire.

En cas d'accident, **l'exploitant doit intervenir pour éviter ou limiter les fuites radioactives** tout en protégeant le personnel travaillant sur le site nucléaire.

Il doit informer les pouvoirs publics de l'évolution de la situation.



## LES ACTIONS MISES EN PLACE

### LORS DE LA CRISE

**Le préfet** décide et organise la mise en œuvre d'actions de protection de la population comme la mise à l'abri, la distribution et la prise de comprimés d'iode stable, l'évacuation de la population et des restrictions de consommation.

**Les services de la sécurité civile** se préparent à aider les personnes des territoires qui pourraient être concernés. Chaque année, une dizaine d'exercices sont organisés pour entraîner les différents acteurs de la crise.

### APRÈS LA CRISE

**Pendant les semaines qui suivent l'accident,** des cartes vont être faites donnant précisément le niveau de contamination des territoires touchés.

**Selon l'importance de la radioactivité,** des actions vont être mises en œuvre pour protéger la population et mettre en place des restrictions de consommation et de vente des produits cultivés et manufacturés dans le territoire affecté.

8.6 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : La fabrique créative/Bruno Bourgeois
Photos : Guillaume Murat/Signatures/Médiathèque IRSN, Arnaud Bouissou/MEDDE/Médiathèque IRSN, Florence Levillain/Signatures/Médiathèque IRSN ASN/N. Robin
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

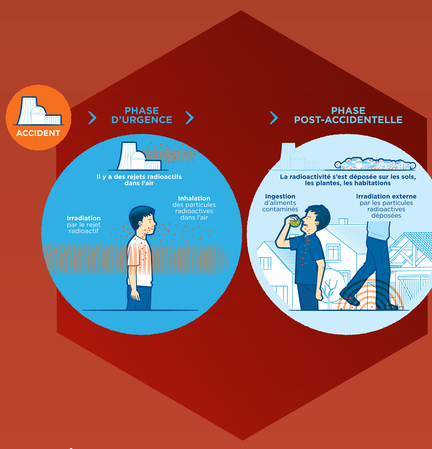
# APRÈS L'ACCIDENT

**Les conséquences d'un accident nucléaire se prolongent bien après la fin des rejets radioactifs. Des dispositions doivent alors être prises pour gérer cette phase dite post-accidentelle.**

## ACCOMPAGNER LA POPULATION

Les dépôts radioactifs consécutifs à un accident nucléaire dans une centrale peuvent avoir des conséquences sanitaires à long terme qu'il faut limiter. Mais cela engendre également des répercussions économiques, psychologiques et sociales importantes dont il faut tenir compte :

- des personnes sont susceptibles d'être éloignées si l'exposition à la radioactivité dans l'environnement est trop importante ;
- des denrées, issues des territoires contaminés, qui seraient interdites à la consommation et à la commercialisation ;
- des secteurs industriels, agricoles et touristiques qui seraient affectés par des pertes d'activité.




## FAIRE UN ÉTAT DE LA SITUATION

La nature de l'accident, l'importance des rejets et les conditions météorologiques du moment (direction et force du vent, pluie) détermineront l'étendue et les niveaux de contamination dans l'environnement.

Afin de préciser les actions de protection de la population à mettre en place, les pouvoirs publics devront déployer un programme de mesures important notamment pour :

- cartographier précisément le niveau de contamination des territoires ;
- mesurer la radioactivité des biens et denrées.

## QUELS SONT LES RISQUES POUR LA SANTÉ ET COMMENT S'EN PROTÉGER ?

Les risques sont liés :

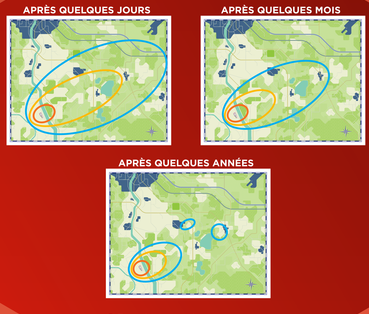
- à la contamination interne par ingestion de denrées alimentaires contaminées. Il s'agit des fruits et légumes cultivés dans les zones contaminées mais aussi de la viande des animaux élevés sur place et des produits d'origine animale (lait, œufs).
  Pour s'en protéger, il faut limiter sa consommation de produits contaminés ou vérifier le niveau de contamination des produits issus de la production locale (jardins potagers par exemple) avant consommation ;
- à l'irradiation externe due aux rayonnements émis par les radionucléides qui se sont déposés lors de l'accident. Pour s'en protéger, il suffit d'éviter d'aller ou de rester dans les zones les plus contaminées.

## LE ZONAGE POST-ACCIDENTEL, PRINCIPAL OUTIL DE GESTION DES TERRITOIRES CONTAMINÉS

Le zonage post-accidentel a pour objectif de protéger la population tout en assurant la reconquête économique et sociale du territoire. Il vient en complément des actions et recommandations générales. Il est décidé par le préfet, sur proposition de l'ASN.

À la fin de la phase d'urgence, l'IRSN réalise des mesures permettant de cartographier l'environnement et les denrées alimentaires. Sur cette base, l'ASN recommande au préfet des actions de protection de la population structurées par zone.

Ce zonage comporte une zone d'éloignement, une zone d'interdiction de consommation des denrées fraîches locales et une zone de contrôle avant commercialisation des productions agricoles.




## LA PRÉPARATION À LA GESTION POST-ACCIDENTELLE EN FRANCE

Le Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire (CODIRPA) a été créé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en 2005, pour réfléchir au sein d'une assemblée pluraliste à la façon de gérer les conséquences d'un accident nucléaire de grande ampleur.

Le site Internet sur le post-accident : www.post-accidentnucleaire.fr permet de se préparer.

En cas d'accident, un guide destiné aux habitants d'un territoire contaminé et un question/réponse destiné aux professionnels de santé pourront être utilisés.

8.7 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : ASN – Cartes : ASN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE
IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

# LE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS NUCLÉAIRES

**À la façon de l'échelle de Richter pour les tremblements de terre, on mesure la gravité des événements nucléaires sur une échelle appelée INES *(International Nuclear Event Scale)*.**

## ANALYSE ET CATÉGORISATION DES ÉVÉNEMENTS

Il n'y a pas de relation de cause à effet entre le nombre d'événements sans gravité détectés et déclarés et la probabilité que survienne un accident grave dans une installation.

En revanche, l'analyse approfondie de chaque événement est une source fondamentale d'enseignements. La détection, puis la déclaration à l'ASN des événements sont indispensables pour faire progresser la sûreté nucléaire.

Ce processus doit donc être encouragé aux niveaux national et international.

ACCIDENT

**7** — **ACCIDENT MAJEUR**
Rejet majeur de matières radioactives avec des effets considérables sur la santé et l'environnement exigeant la mise en œuvre d'actions de protection.

**EXEMPLES DE NIVEAU 7**
**À l'étranger :**
- 2011 : explosion des réacteurs 1, 2 et 3 de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi (Japon).
- 1986 : explosion du réacteur 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl (Ukraine).

**6** — **ACCIDENT GRAVE**
Rejet important de matières radioactives avec recours probable à des actions de protection.

**EXEMPLE DE NIVEAU 6**
À l'étranger :
- 1957 : explosion d'une cuve de produits radioactifs à l'usine de retraitement de Kyshtym (Russie).

**5** — **ACCIDENT**
entraînant un risque hors du site.

**EXEMPLE DE NIVEAU 5**
À l'étranger :
- 1979 : fusion partielle du cœur du réacteur à Three Mile Island (États-Unis).

**4** — **ACCIDENT**
n'entraînant pas de risque important à l'extérieur du site.

**EXEMPLES DE NIVEAU 4**
**En France :**
- 1980 : endommagement du cœur du réacteur A2 de Saint-Laurent-des-Eaux.
- 1969 : fusion de combustible dans le réacteur A1 de la centrale de Saint-Laurent-des-Eaux.

INCIDENT

**3** — **INCIDENT GRAVE**
Défaillance de toutes les dispositions en matière de sûreté.

**EXEMPLES DE NIVEAU 3**
**En France :**
- 1981 : incendie d'un silo de stockage à La Hague.

**À l'étranger :**
- 2008 : rejet anormal d'iode 131 à l'Institut des radioéléments de Fleurus en Belgique.
- 2003 : dégagement de gaz radioactifs en provenance de barres de combustibles fissurées stockées dans la centrale de Paks (Hongrie).
- 2002 : découverte sur le réacteur de la centrale de Davis Besse (États-Unis) d'une cavité dans le couvercle de cuve due à une corrosion du métal par l'acide borique.

**2** — **INCIDENT**
Défaillance importante des dispositifs de sûreté (quelques-uns par an en France).

**EXEMPLES DE NIVEAU 2**
En France :
- 2012 : non-conformité d'une tuyauterie des piscines des réacteurs 2 et 3 de la centrale nucléaire de Cattenom.
- 2009 : obturation d'une prise d'eau par afflux massif de débris végétaux à la centrale nucléaire de Cruas lors d'une crue.
- 1999 : une tempête, conjuguée à des mesures de protection inadaptées, conduit à l'inondation partielle de la centrale nucléaire du Blayais.

**1** — **ANOMALIE**
(une centaine par an en France).

**EXEMPLES DE NIVEAU 1**
**En France :**
- non-respect des règles générales d'exploitation lors des opérations de redémarrage du réacteur ;
- défaut de serrage de deux fixations d'une porte d'accès de l'enceinte de confinement du réacteur.

**0** — **ÉCART**
par rapport au mode de fonctionnement normal d'une installation, sans enjeu de sûreté (environ un millier par an en France).

**EXEMPLE DE NIVEAU 0**
**En France :**
- oubli d'un test du groupe électrogène de secours.

8.8 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : Kazoar
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

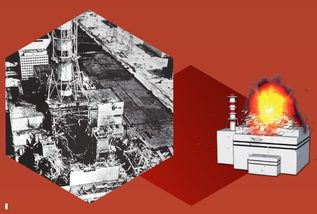
asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

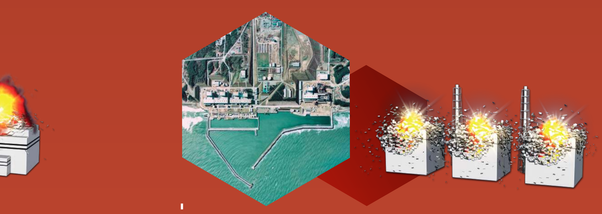
# ACCIDENTS PASSÉS

**Dans le monde, plusieurs accidents nucléaires se sont produits depuis les années 1950. Les plus graves, de niveau 7 sur l'échelle INES, ont eu lieu à Tchernobyl en 1986 et Fukushima en 2011. Ces accidents font l'objet d'un retour d'expérience international. Les conséquences de ces accidents majeurs : des territoires durablement contaminés, des conséquences sanitaires et le bouleversement de la vie de nombreuses personnes.**



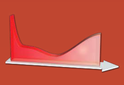
## TCHERNOBYL : 26 AVRIL 1986

Une augmentation brutale et incontrôlée de la réaction nucléaire (multipliée par 100 en une fraction de seconde) a entraîné l'explosion du cœur d'un réacteur et la destruction du bâtiment. Le combustible a été dispersé autour de l'installation.



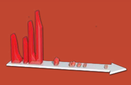
## FUKUSHIMA : 12, 14, 15 MARS 2011

La perte des alimentations électriques et du refroidissement a entraîné la fusion du cœur de trois réacteurs, libérant des produits radioactifs dans l'environnement. Le combustible fondu est resté à l'intérieur des enceintes.



### REJETS

Les rejets ont été continus pendant 10 jours évoluant selon l'importance du feu dans le réacteur et les apports de sable et de plomb par hélicoptère.



### REJETS

Une quinzaine d'épisodes de rejets discontinus durant deux semaines à la suite des explosions successives des réacteurs.



### DÉPÔTS DES REJETS

L'ensemble de l'Europe a été contaminé à des degrés divers. Une contamination au césium 137 supérieure à 600 000 Bq/m² a été dispersée sur plus de 13 000 km². Elle a diminué de moitié depuis.



### DÉPÔTS DES REJETS

Une contamination au césium 137 supérieure à 600 000 Bq/m² a été dispersée sur plus de 600 km² autour de la centrale et jusqu'à 250 km de distance.



### ÉVACUATION DES POPULATIONS

270 000 personnes évacuées par l'État.



### ÉVACUATION DES POPULATIONS

Plus de 150 000 personnes évacuées des zones d'exclusion par l'État. 50 000 personnes ont décidé de quitter les zones contaminées de leur propre chef.



### CONTAMINATION DES DENRÉES

Tout d'abord pas de restriction immédiate de consommation des denrées locales, puis interdiction des activités agricoles.



### CONTAMINATION DES DENRÉES

Contrôle de la contamination des denrées et restrictions de commercialisation.



### DEVENIR DES INSTALLATIONS

Construction d'un sarcophage devant confiner les matières radioactives du réacteur, dans l'attente d'une solution à long terme à définir.



### DEVENIR DES INSTALLATIONS

Le corium forme une masse qu'il faut continuer à refroidir. Des centaines de milliers de tonnes d'eau vont être utilisées puis stockées sur le site en attente de traitement. Les réacteurs seront démantelés d'ici à 2050.

### GESTION DES DÉCHETS

Le stockage se fait sur place : tranchées creusées dans la zone d'exclusion.

### GESTION DES DÉCHETS

La stratégie n'est pas encore définie : entreposages provisoires.

8.9 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois – Photos : IAEA Imagebank, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

# TCHERNOBYL
# ET SES CONSÉQUENCES

**En 1986, le réacteur de la centrale de Tchernobyl, en Ukraine, explose, libérant poussières et particules radioactives.**

## LES CONSÉQUENCES LOCALES

Le bilan humain de l'accident de Tchernobyl fait l'objet de controverses (voir section « En débat »). Le rapport de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), publié en 2006, fait état de 47 morts dans les semaines qui ont suivi l'accident. Il prévoit également des milliers de morts par cancer (entre 9 000 et 16 000) dans les 50 ans suivant la catastrophe.

Parmi les personnes qui peuvent développer ces maladies se trouvent **les liquidateurs,** des centaines de milliers de personnes qui ont sécurisé le site, construit le sarcophage et assaini les alentours.

Les enfants qui ont respiré de l'iode radioactif et qui ont ingéré des aliments contaminés ont pu développer des **cancers de la thyroïde.**

En **Biélorussie, Russie et Ukraine,** de 1991 à 2005, 6 848 cancers de la thyroïde ont été constatés parmi les enfants âgés de moins de 18 ans en 1986 ; la majorité avait moins de 14 ans (rapport Unscear 2008).

Ces maladies sont liées au passage du panache radioactif, à la contamination de l'environnement **et de l'alimentation.**

Le réacteur ne comportait pas de systèmes de sécurité robustes ni d'enceinte de confinement. Le cœur du réacteur a fondu et s'est répandu dans les parties basses du bâtiment réacteur.

Les 50 000 habitants de Pripiat, à trois kilomètres de la centrale, n'ont été évacués que le lendemain.

Le sarcophage réalisé d'avril à novembre 1986 dans des conditions extrêmement difficiles s'est dégradé, la pluie peut y pénétrer. Il a été recouvert par une arche, dont la construction s'est achevée en 2018.





## LES RETOMBÉES EN EUROPE

La masse d'air contaminée a survolé une grande partie de l'Europe, des zones ont été contaminées significativement en Norvège, en Suède, au Royaume-Uni.

Des dispositions ont été **prises dans différents pays** pour limiter l'exposition des habitants, en particulier la consommation de produits contaminés a été restreinte.

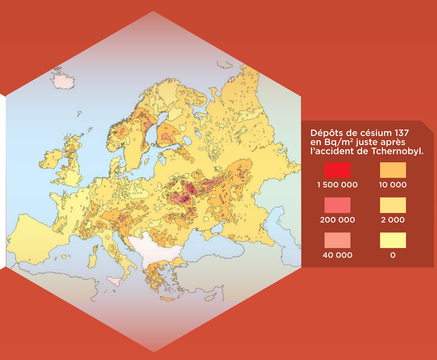
La **partie est de la France** a été touchée, en particulier là où il a plu lors du passage du nuage.

### DÉPÔTS DE CÉSIUM 137

en Bq/m² juste après l'accident de Tchernobyl.

À partir du 26 avril 1986, les masses d'air contaminées progressent vers l'ouest et le nord de l'Europe.

Le césium 137 est choisi comme étalon pour caractériser la contamination en Europe.




## EN DÉBAT COMBIEN DE VICTIMES ?

**De nombreux rapports contradictoires d'agences, d'associations ou de chercheurs ont été publiés sur la catastrophe de Tchernobyl. Des chiffres de dizaines ou même de centaines de milliers de victimes de la catastrophe sont avancés et sont très éloignés des chiffres officiels.**

**Il reste bien difficile d'établir un bilan fiable, compte tenu des incertitudes scientifiques et des risques d'instrumentalisation des chiffres.**

**De façon certaine, 47 morts sont directement attribuables à la catastrophe parmi les liquidateurs, les pompiers et les opérateurs de la centrale à la suite d'irradiations massives.**

**On a pu également recenser 7 000 cas de cancers de la thyroïde chez les enfants les plus exposés en Biélorussie, Russie et Ukraine. 15 décès sont signalés parmi ces malades.**

8.10 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Carte : IRSN – Photos : IAEA Imagebank, Tiia Monto
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

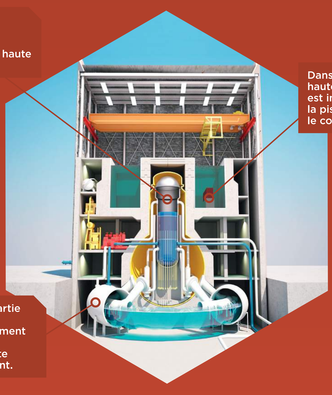
asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

# FUKUSHIMA, LES RÉACTEURS ACCIDENTÉS

**Les réacteurs de Fukushima ont été accidentés à la suite du séisme et du tsunami du 11 mars 2011.**




### LES RÉACTEURS DE FUKUSHIMA

Ce sont des réacteurs à eau bouillante (REB) dans lesquels la vapeur produite par le cœur fait directement tourner la turbine.

Il n'y a pas de circuit secondaire et de générateur de vapeur.

## DEUX CATASTROPHES NATURELLES QUI S'ENCHAÎNENT

**1.** Le séisme de force 9, dont l'épicentre est situé à 180 km, détruit les alimentations électriques du réacteur.



**2.** Quarante minutes après, une vague de 14 mètres noie les groupes électrogènes de secours et des systèmes de sûreté. Les salles de commande sont dans le noir, la plupart des capteurs indiquant le fonctionnement des systèmes sont hors service.



## CONSÉQUENCES SUR LA CENTRALE

### LES CŒURS DES RÉACTEURS 1, 2 ET 3 ONT FONDU

Les cœurs des réacteurs ont formé des coriums qui ont percé les cuves et les parois de l'enceinte des réacteurs. On ne connaît ni leur quantité ni leur localisation exacte. Les produits de fission qu'ils contiennent continuent à les chauffer. Si on ne les refroidit pas, ils pourraient de nouveau rejeter des produits radioactifs dans l'air. C'est pour cela que l'exploitant injecte environ 200 m³ d'eau par jour. L'eau se charge en produits de fission lors du contact avec le corium.

L'explosion de l'hydrogène dégagé par la fusion du cœur a soufflé la structure du bâtiment.

L'enceinte est montée en pression, il a fallu dépressuriser en relâchant des produits de fission et de l'hydrogène dans l'air.

Le corium a percé la cuve et s'est enfoncé dans le béton.



### LE PÉRIL DE LA PISCINE DU RÉACTEUR 4

Il n'y avait pas de combustible dans le cœur du réacteur 4, qui était déchargé. Mais le combustible usé de trois cœurs était stocké dans sa piscine, exigeant un refroidissement continu.

Faute de refroidissement, les trois cœurs ont chauffé, l'eau de la piscine a commencé à bouillir et à s'évaporer. Ils auraient également pu fondre en dégageant des produits de fission si les pompiers n'avaient pas apporté des moyens exceptionnels pour injecter de l'eau.

### 600 000 M³ D'EAU CONTAMINÉE ENTREPOSÉS SUR LE SITE EN MARS 2014… ET LE DOUBLE EN 2021 !

L'eau de refroidissement injectée dans les réacteurs s'est écoulée dans les sous-sols des bâtiments où elle s'est mélangée aux infiltrations d'eaux souterraines. L'exploitant (Tepco) traite partiellement ces eaux et doit gérer des volumes d'entreposage sans cesse croissants.

La saturation des capacités d'entreposage actuelles du site de Fukushima devrait être atteinte à l'été 2022. Pour faire face à cette situation, le Japon prévoit des rejets en mer à compter de 2023.

**Consultez le bilan de la situation à Fukushima en 2021**

10 ans après l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi

8.11 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Carte : Iffo-RME/Google map – Illustration : EPSIM – Photos : TEPCO
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

# FUKUSHIMA, LA RÉPONSE DE LA SOCIÉTÉ

**Dans les territoires où l'exposition annuelle à la radioactivité était supérieure à 20 mSv/an, la population a été évacuée. Dans ceux où elle était inférieure à ce seuil, en complément des actions de l'État, les habitants se sont organisés pour limiter les doses reçues.**

## LA ZONE PRÉSENTANT UN NIVEAU D'EXPOSITION > 20 mSv/AN A ÉTÉ ÉVACUÉE

Ici, les habitants ont été évacués.

L'État finance la décontamination de cet espace pour qu'ils puissent revenir. Mais un retour de la population ne sera pas possible partout.

## DANS LA ZONE PRÉSENTANT UN NIVEAU D'EXPOSITION < 20 mSv/AN, LA SOCIÉTÉ S'EST ORGANISÉE

Cette dose est mesurée à l'extérieur à un mètre du sol. C'est la dose que recevrait une personne si elle restait dehors pendant un an.

Les municipalités et les habitants ont entrepris différentes actions pour diminuer les doses ambiantes.




**Les actions menées**

par les habitants, les mairies et l'État ont permis de diminuer fortement les doses reçues par rapport aux mesures initiales.

8.12 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois – Photo : Guillaume Bression/Fabien Recoquillé/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'ACCIDENT NUCLÉAIRE

# FUKUSHIMA, LES ENJEUX

**Évacuation, décontamination, retour de la population déplacée, suivi de la santé des habitants, mesure des denrées alimentaires : ces actions de l'État sont essentielles dans la situation post-accidentelle.**

## LES CHOIX DES ÉVACUÉS

Plus de 120 000 personnes ont été déplacées à cause de la contamination de leurs lieux de vie, entraînant une exposition supérieure à 20 mSv/an. D'abord hébergées dans 2 200 abris, elles ont ensuite été installées dans des logements temporaires.

Plus de 40 000 ont volontairement évacué leur territoire, inquiets de la contamination. Certaines communes ont été décontaminées, la population est invitée à revenir.

Que va-t-elle faire ?




### LA CONTAMINATION EN 2011

L'essentiel de la contamination s'est déposé en quelques heures dans le sens du vent.

Il a plu et il a neigé : certaines communes ont été plus touchées du fait de l'intensité des précipitations.

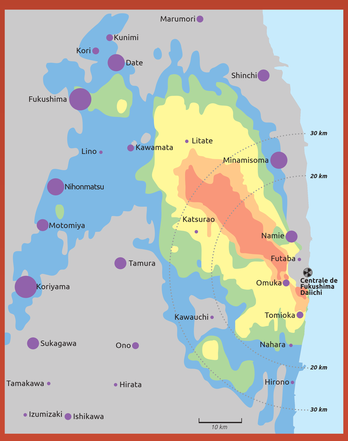
### LE DEVENIR DES COMMUNES ÉVACUÉES

Selon l'importance de la contamination et de la possibilité de décontaminer, un plan gouvernemental a prévu un devenir différencié selon les communes.

### LA RECONQUÊTE DES TERRITOIRES

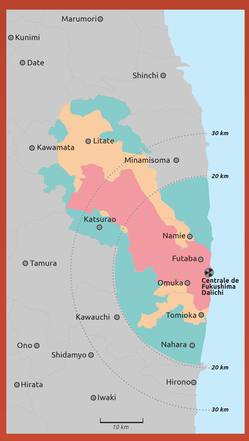
La décontamination peut permettre de réduire sensiblement l'exposition des personnes.

L'État a planifié ces travaux et les a engagés.




Dépôts en césium 134 et césium 137 (Bq/m²)
- 6 000 000 à 30 000 000
- 3 000 000 à 6 000 000
- 1 000 000 à 3 000 000
- 600 000 à 1 000 000
- 300 000 à 600 000

Nombre d'habitants
- 200 000 à 350 000
- 50 000 à 100 000
- 20 000 à 50 000
- 10 000 à 20 000
- 0 à 10 000




Zones d'évacuation et de retour
- Retour difficile avant une longue durée. Dose externe > 50 millisieverts/an
- Restriction interdite à l'habitation. Dose externe entre 20 et 50 millisieverts/an
- Préparation au retour en 2015. Dose externe < 20 millisieverts/an




Zones de décontamination
- Achevée
- Débutée
- Décidée
- Non décidée
- Difficile pour longtemps

## BILAN DE SANTÉ

Un vaste programme a été mis en place par les autorités japonaises pour suivre la santé des habitants de la préfecture de Fukushima et en tirer des enseignements. Il repose sur quatre études épidémiologiques d'une durée de 30 ans, dont la première porte sur les 2,1 millions de personnes qui se trouvaient dans la préfecture de Fukushima au moment de l'accident. Trois populations à risque font l'objet d'un suivi plus poussé : les enfants, les évacués et les femmes enceintes.

### LES DÉCÈS

Officiellement, personne n'est décédé du fait de la radioactivité à Fukushima. Les évacuations ont été menées pour limiter les doses et éviter des cancers à long terme. Combien de cancers ont été évités du fait de l'évacuation ? C'est une question actuellement en discussion dans la communauté scientifique.

La préfecture de Fukushima a comptabilisé plus de 1 600 morts du fait des évacuations : morts de personnes âgées faute de soin, décès dans les transports, suicides. Une catastrophe nucléaire s'entend au-delà du risque direct lié à la radioactivité.

### LES FEMMES ENCEINTES

Les principaux enseignements ont été tirés d'une enquête auprès de plus de 20 000 femmes enceintes :

- pas d'évolution significative du taux de fausses couches. Après une augmentation du taux de naissances prématurées entre 2011 et 2012, ce taux est à la baisse en 2013 ;
- s'agissant des malformations à la naissance, le taux est de 2,85 % pour les naissances entre août 2010 et juillet 2011. Ces chiffres sont comparables à la moyenne nationale japonaise qui est comprise entre 3 et 5 %.

### 360 000 VÉRIFICATIONS DE THYROÏDE

Tous les enfants âgés de moins de 18 ans en 2011 de la préfecture de Fukushima ont bénéficié d'un bilan thyroïdien. Ces examens vont se poursuivre dans les prochaines années.

En 2015, plus d'une centaine de cancers ont été diagnostiqués, combien sont dus à l'accident de Fukushima ?

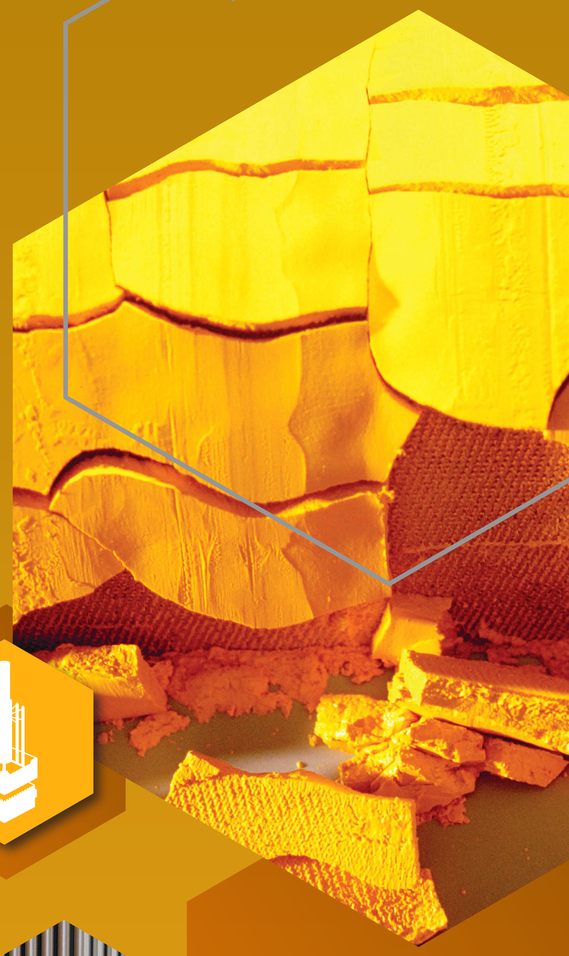


8.13 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Cartes : IRSN – Photo : The Asahi Shimbun/GettyImages
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# LE « CYCLE DU COMBUSTIBLE »





9.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Lesage Philippe/Orano, Éric Larrayadieu/Orano
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE « CYCLE DU COMBUSTIBLE »

# DE LA MINE AU DÉCHET

**Le combustible** utilisé dans les centrales nucléaires est fabriqué à partir d'**uranium** extrait dans des **mines**. En France, une fois utilisée, une partie du combustible devient un **déchet**, le reste peut être **recyclé**.

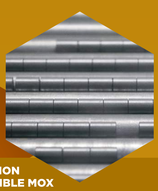
## LE « CYCLE DU COMBUSTIBLE »



**L'ENRICHISSEMENT DE L'URANIUM**

Seul l'uranium 235 est fissile et donc utile pour le fonctionnement des centrales nucléaires.

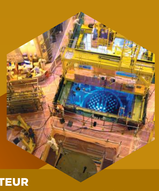
Or, l'uranium naturel en contient moins de 1 %. Il faut donc convertir l'uranium avant de l'enrichir pour atteindre les 3 à 5 % requis pour le combustible final.



**LA FABRICATION DU COMBUSTIBLE MOX**

Le plutonium est mélangé avec de l'uranium puis compressé pour former des pastilles de combustible MOX.

Les pastilles sont empilées dans des tubes assemblés en faisceaux carrés pour former le combustible final.



**DANS LE RÉACTEUR**

Plus de 200 assemblages sont disposés dans la cuve du réacteur et forment le cœur.

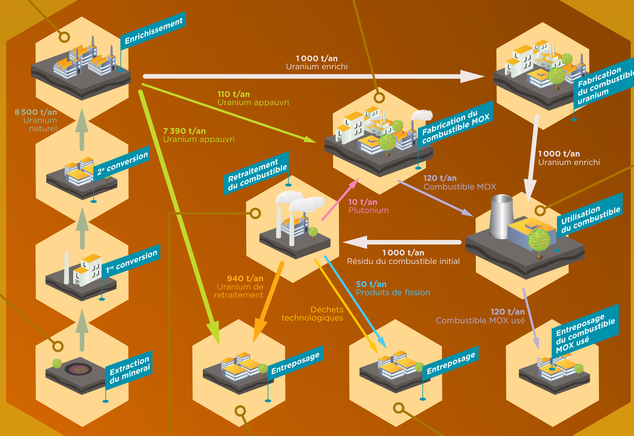
Un tiers des assemblages est renouvelé chaque année pour les réacteurs 900 MW et tous les 18 mois pour les réacteurs 1300 MW.



**LES MINES D'URANIUM**

La plupart du temps, l'uranium est extrait de la pechblende. De ce minerai brut, on produit une poudre concentrée d'uranium, appelée le « gâteau jaune » ou *« yellow cake »*. Des résidus et des stériles restent sur place.

Aujourd'hui, les mines françaises sont fermées, l'uranium provient de l'étranger.




**LE RETRAITEMENT**

Les assemblages sont cisaillés et dissous chimiquement.

En sont extraits l'uranium et le plutonium qui peuvent servir à fabriquer de nouveaux combustibles.

Le plutonium entre dans la composition des combustibles MOX.



**LE REFROIDISSEMENT**

Les réactions nucléaires continuent à chauffer les pastilles même lorsque les assemblages sont usés et retirés de la cuve.

Aussi faut-il les refroidir en permanence dans une piscine reliée à un système de circulation d'eau, et cela pendant plusieurs années avant de pouvoir les retraiter.



**ENTREPOSAGE DE L'URANIUM DE RETRAITEMENT**

L'uranium issu du retraitement des combustibles n'est plus recyclé à ce jour et est entreposé sur le site de Pierrelatte.



**LE STOCKAGE**

Les produits de fission et les actinides, déchets radioactifs issus du retraitement, sont incorporés dans du verre en fusion qui est coulé dans des conteneurs en acier inoxydable hermétiquement fermés.

Ces conteneurs sont ensuite entreposés dans l'attente d'un lieu de stockage définitif.



**LE TRANSPORT**

Une fois le combustible suffisamment refroidi, il est transporté dans un conteneur spécialement conçu vers l'usine de La Hague.



9.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : ASN
Photos : Petitot Nicolas/Orano, Éric Larrayadieu/Orano, EDF/mission communication Golfech, Orano, Philippe Lesage/Orano, Éric Larrayadieu/Interlinks Image, Philippe Dureuil/Médiathèque IRSN, Éric Larrayadieu/Orano, Éric Larrayadieu/Orano
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE « CYCLE DU COMBUSTIBLE »

# LES MINES D'URANIUM

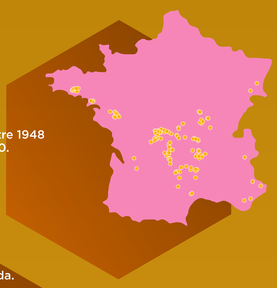
**L'uranium** provient aujourd'hui exclusivement de **l'étranger**. Mais la **France** a exploité des mines pendant plus de **50 ans** et a produit des **stériles** et des **résidus** qu'il faut encore **gérer**.

## LES MINES D'URANIUM DANS LE MONDE

### LES ANCIENNES MINES EN FRANCE

Des mines d'uranium ont été exploitées en France entre 1948 et 2001, avec un pic de production dans les années 80.

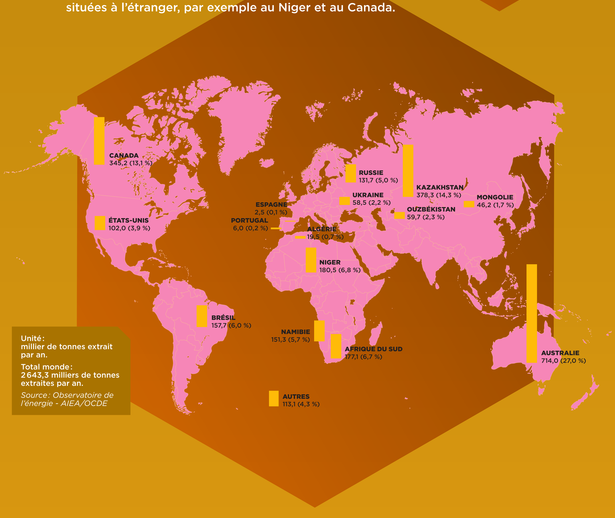
On compte environ 250 anciens sites miniers, répartis sur 27 départements et qui ont produit au total 76 000 tonnes d'uranium.



**Plus de détails**
sur les mines en France

### LES MINES D'ORANO À L'ÉTRANGER

La Cogema, devenue aujourd'hui Orano, a investi dans des mines à forte teneur en minerai situées à l'étranger, par exemple au Niger et au Canada.




Unité :
millier de tonnes extrait par an.

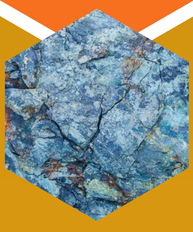
Total monde :
2 643,3 milliers de tonnes extraites par an.

*Source : Observatoire de l'énergie - AIEA/OCDE*

### UN BON FILON

Des filons d'uranium se sont constitués au fil des millénaires grâce au ruissellement de l'eau dans les failles, les fissures, les surfaces libres des massifs granitiques. L'eau a entraîné les atomes d'uranium qui se sont déposés là où les conditions chimiques étaient favorables.

C'est pourquoi on trouve beaucoup d'anciennes mines dans le Massif central et en Bretagne, régions dont le granite est riche en uranium.



### Combien coûte l'uranium ?

L'uranium n'est pas une ressource très onéreuse. En 2017, 1 kg d'uranium brut (hors traitement) coûte 80 euros.
Pour comparaison, 1 kg d'argent vaut environ 500 euros et 1 kg d'or 30 000 euros.

Le prix de l'uranium fluctue en fonction de l'évolution des marchés mais aussi d'incidents comme l'inondation de la mine de Cigar Lake au Canada ou l'incendie de la mine Olympic Dam en Australie en 2007.

L'extraction de l'uranium peut présenter des risques pour la santé des mineurs et les résidus laissés sur place, des risques pour la population.

## LES RISQUES POUR LES MINEURS

Entre autres risques, les mineurs qui extraient de l'uranium peuvent être exposés intensivement au radon, gaz radioactif émanant des roches et stagnant dans les galeries. Le code minier s'applique à leur travail.

### LES ÉTUDES SUR LES MINEURS

L'IRSN a effectué une recherche sur près de 5 000 mineurs pour déterminer les conséquences de l'exposition au radon et a comparé les résultats avec de nombreuses autres études.

L'évolution du taux de la mortalité par cancer du poumon en fonction des concentrations en radon a été quantifiée.

Par exemple : une exposition de l'ordre de 1 000 Bq/m$^3$ par an pendant 25 ans multiplie par deux le risque de développer un cancer du poumon.

## EN DÉBAT
## LA QUESTION DES RÉSIDUS MINIERS

**L'exploitation des mines d'uranium en France a entraîné la production de plusieurs millions de tonnes de stériles et de résidus radioactifs. Parfois, ils ont pu être utilisés comme remblais ou comme matériaux de construction.**

**Aujourd'hui, on ne peut pas déplacer les résidus donc ils doivent faire l'objet d'un suivi. Des actions sont menées pour cartographier les sites et évaluer les risques.**

**La réglementation a évolué : il est désormais interdit d'utiliser les stériles pour la construction.**

9.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Cartes : Kazoar – Photos : amixstudio/AdobeStock
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE « CYCLE DU COMBUSTIBLE »

# LA FABRICATION DU COMBUSTIBLE

**Sorti de la mine, l'uranium subit de multiples traitements physico-chimiques pour finalement être mis sous forme de pastilles de dioxyde d'uranium. Elles sont empilées dans des gaines de « crayons » qui composent les « assemblages ».**

## UNE CASCADE DE TRANSFORMATIONS CHIMIQUES…

L'uranium extrait des mines, concentré sous forme de *« yellow cake »*, n'est pas utilisable dans les réacteurs nucléaires.

Pour devenir du combustible, il doit subir différentes opérations. Dans un premier temps, le *« yellow cake »* est dissous par de l'acide, puis purifié. En le calcinant, on obtient de la poudre de trioxyde d'uranium ($UO_3$) qui est ensuite transformée en tétrafluorure d'uranium ($UF_4$).

Ces opérations sont réalisées dans l'usine Orano à Malvési près de Narbonne.

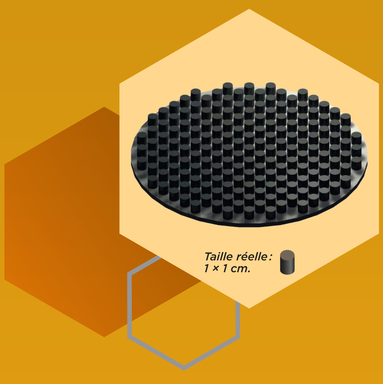
Dans l'usine Philippe Coste du Tricastin dans la Drôme, l'$UF_4$ est ensuite converti en hexafluorure d'uranium ($UF_6$) que l'on fait passer de l'état solide à l'état gazeux pour l'enrichir en isotope 235. Puis des pastilles d'oxyde d'uranium ($UO_2$) sont produites avec de la poudre d'uranium enrichi.



## LE MONTAGE D'UN ASSEMBLAGE

On assemble plus de 200 crayons dans des grilles dans lesquelles s'enfonce une barre de commande qui permettra de contrôler la réaction en chaîne.

## … POUR FABRIQUER DES PASTILLES D'OXYDE D'URANIUM…

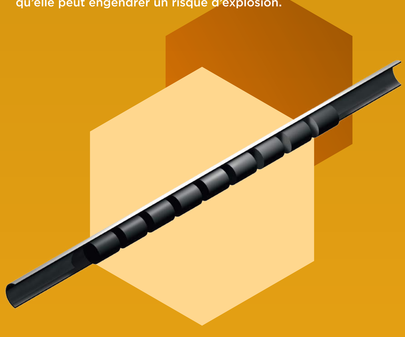


*Taille réelle : 1 × 1 cm.*

## … ET DES CRAYONS GAINÉS DE ZIRCALOY…

Le zircaloy est un alliage qui laisse passer les neutrons, mais qui malheureusement s'oxyde en formant de l'hydrogène.

En cas d'accident, la quantité d'hydrogène produite est telle qu'elle peut engendrer un risque d'explosion.



## LA CHIMIE DE L'URANIUM N'EST PAS SANS RISQUE

L'hexafluorure d'uranium est radioactif. De plus, c'est un produit très toxique : il réagit avec l'eau en se transformant en fluorure d'uranyle ($UO_2F_2$) et en acide fluorhydrique (HF).

Cette réaction est rapide et forte, elle s'accompagne d'émission de fumées irritantes et suffocantes d'acide fluorhydrique. Ces risques aussi doivent être maîtrisés.

9.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : B2 infographie – Photos : Orano/ Adeline Justamon
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE « CYCLE DU COMBUSTIBLE »

# LE RETRAITEMENT DU COMBUSTIBLE

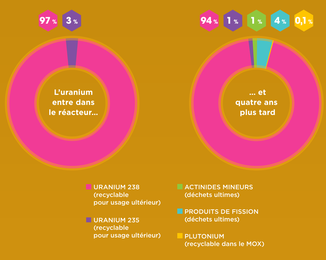
**En France, seule une partie du combustible usé des centrales nucléaires devient un déchet. Le reste peut être recyclé pour fabriquer du combustible neuf.**

## 1. RÉACTEUR : USURE DU COMBUSTIBLE

La teneur en uranium 235 des pastilles de combustible diminue au fil de leur irradiation. Ces isotopes se transforment en éléments radioactifs artificiels qui sont autant de déchets. En effet, chaque fission détruit un atome, le remplaçant par deux atomes dénommés produits de fission.

Quand un neutron frappe un atome d'uranium 238, cet atome peut absorber les neutrons, formant des produits lourds, les actinides tels que l'américium, le neptunium ou encore le plutonium.

Le plutonium est aussi fissile et, en France, il peut être utilisé pour fabriquer du combustible MOX. La teneur en plutonium est de l'ordre de 1 % dans le combustible usé. Le retraitement sépare ces différents produits.



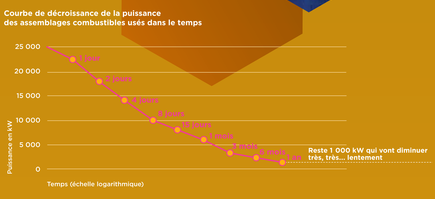

## 2. PISCINE : C'EST CHAUD !

Les éléments radioactifs artificiels du combustible nucléaire usé le font chauffer intensément avec leurs rayonnements.

En fin de vie, les assemblages sont sortis du réacteur à l'aide de robots et entreposés sur le site dans une piscine pour les refroidir.

La chaleur va alors diminuer progressivement.









## 3. TRANSPORT ET ENTREPOSAGE

Quand le combustible est suffisamment refroidi, il est extrait de la piscine, placé dans des emballages spécialement conçus et transporté à l'usine de La Hague où il est de nouveau entreposé en piscine en vue de son retraitement.

Une des piscines de La Hague contient l'équivalent de 40 cœurs de réacteurs nucléaires. Une hauteur de 20 mètres d'eau protège les travailleurs des rayonnements ionisants.

## 4. RECYCLAGE : LA SECONDE VIE DU COMBUSTIBLE

Il reste de l'uranium dans le combustible usé qui est extrait. Il peut être ré-enrichi dans certaines conditions.

Dans le combustible usé, se trouve également du plutonium fissile qui est utilisable dans un réacteur nucléaire. On le mélange à l'uranium pour fabriquer un combustible « valorisé » appelé MOX (oxyde mélangé).

Le combustible le plus utilisé en France, à base d'uranium seul, est appelé UOX (oxyde d'uranium).

## EN DÉBAT LE MOX N'A-T-IL QUE DES AVANTAGES ?

**Pour la fabrication du combustible MOX, on réutilise le plutonium contenu dans le combustible usé. Cela permet d'éviter de le mettre dans les déchets et économise la ressource en uranium.**

**En cas d'accident, les produits de fission du combustible MOX sont plus dangereux que ceux de l'UOX.**

**Le plutonium est aussi très toxique chimiquement pour les travailleurs, ce qui nécessite des mesures de protection supplémentaires.**

**Du point de vue de la sécurité, le plutonium sous forme purifiée peut être la cible de vols pour fabriquer des armes.**

9,5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Interlinks Image/Éric Larrayadieu, Laurent Zylberman/Graphix-Images/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LE « CYCLE DU COMBUSTIBLE »

# LE TRANSPORT DES SUBSTANCES RADIOACTIVES

**En France, environ un million de colis de substances radioactives sont transportés chaque année. Les transports liés au « cycle du combustible » n'en constituent qu'une part limitée (de l'ordre de 10 % des colis transportés) mais présentent les plus forts enjeux de sûreté (en particulier pour les transports de combustible usé).**

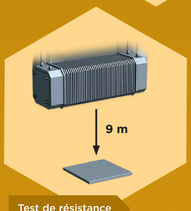


## DES EMBALLAGES CONÇUS POUR RÉSISTER

Il existe plusieurs catégories de colis de transport de substances radioactives définies en fonction de la quantité de substances radioactives à transporter (l'activité du contenu) ou de leur dilution dans l'ensemble des matières à transporter (l'activité massique du contenu).

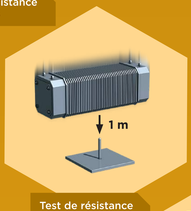
Parmi ces différentes catégories de colis de substance radioactives, la catégorie A concerne les substances de radioactivité moyenne et la catégorie B, celles de haute radioactivité comme celles du combustible usé.

Les ingénieurs ont conçu des emballages qui peuvent résister à différents types d'incidents et d'accidents.




Test de résistance aux chutes

| Exemples d'épreuves réglementaires | | | |
|---|---|---|---|
| **Catégorie A (radioactivité moyenne)** | Résiste à l'aspersion d'eau simulant une forte tempête | Résiste à la pénétration d'une barre de 6 kg lâchée d'une hauteur de 1 m | Résiste à une chute libre du colis d'une hauteur jusqu'à 1,2 m |
| **Catégorie B (haute radioactivité)** | Supporte une immersion jusqu'à 200 m de profondeur | Résiste à une chute libre de 9 m et à une chute de 1 m sur un poinçon | Résiste à une épreuve d'incendie de 800 °C pour une durée de 30 minutes |



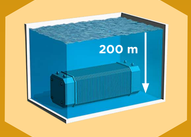

Test de résistance au poinçonnage

### ET POUR LES COLIS DE FAIBLE ACTIVITÉ ?

Même s'ils étaient entièrement détruits lors d'un accident, l'exposition du public et des intervenants resterait limitée.



Test de résistance au feu




Test de résistance à l'immersion




## LA SÛRETÉ DES TRANSPORTS DE SUBSTANCES RADIOACTIVES

Le responsable du transport doit respecter une réglementation internationale qui porte sur la robustesse des emballages contenant les substances radioactives, la fiabilité des opérations de transport et la préparation aux situations d'urgence.

Les colis présentant de forts enjeux de sûreté doivent faire l'objet d'un agrément de l'ASN, après expertise technique de l'IRSN.

De plus, il faut bien veiller à ce que :

- les exploitants et les personnels concernés soient organisés et formés pour faire face à toute éventualité ;
- la traçabilité des matières radioactives transportées soit assurée et que l'étiquetage soit précis et normé, donnant des informations et consignes claires pour ceux qui interviendraient en cas d'accident ;
- des contrôles et des vérifications du respect de ces règles soient exercés.

## EN DÉBAT LES RISQUES LIÉS AUX TRANSPORTS

**Même si les emballages sont très protecteurs, les colis continuent d'émettre des rayonnements.**

**Ils peuvent emprunter tous les modes de transport et toutes les voies publiques.**

**Des élus et des associations dénoncent les risques d'exposition pour les populations, ainsi que l'absence d'information sur les itinéraires.**

**Les risques d'exposition du public sont faibles.**

**Une personne devrait rester dix heures à deux mètres d'un véhicule transportant des substances radioactives à haute activité pour être exposée à 1 millisievert, soit la limite réglementaire annuelle pour le public.**

**Pour éviter des actes de malveillance, les itinéraires des transports les plus sensibles doivent rester confidentiels.**

9.6 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception-réalisation : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : La-fabrique-créative/Bruno Bourgeois
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# QUE FAIRE DES DÉCHETS RADIOACTIFS ?





10.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Creativemarc/iStock, Gilles Crampes/BSM International/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

QUE FAIRE DES DÉCHETS RADIOACTIFS ?

# LES DIFFÉRENTS DÉCHETS RADIOACTIFS

Les **déchets radioactifs** sont des substances, issues notamment de la production d'électricité d'origine nucléaire mais également de l'industrie, de la recherche ou de la médecine, pour lesquelles **aucune utilisation ultérieure n'est envisagée**. Ils présentent des risques plus ou moins importants.



**DÉCHETS VTC : VIE TRÈS COURTE**

Déchets radioactifs qui ont une demi-vie inférieure à 100 jours. Une partie importante résulte des applications médicales de la radioactivité (diagnostic ou thérapie).



**DÉCHETS HA : HAUTE ACTIVITÉ**

Les déchets de haute activité résultent du traitement des combustibles nucléaires. Ils dégagent de la chaleur. Il faut les laisser refroidir pendant des années, dans des piscines, avant de les stocker définitivement.

En France, les résidus de haute activité sont calcinés puis incorporés à une pâte de verre en fusion. Ils sont ensuite coulés dans un colis en inox.



**DÉCHETS TFA : TRÈS FAIBLE ACTIVITÉ**

Ils proviennent de l'industrie nucléaire, en particulier des opérations de démantèlement des installations.

Il s'agit principalement de pièces issues du découpage d'équipements et de gravats très faiblement contaminés.



**DÉCHETS MA-VL : MOYENNE ACTIVITÉ VIE LONGUE**

Ils sont essentiellement constitués des coques et embouts issus du traitement des combustibles nucléaires et des déchets liés au fonctionnement et à la maintenance des centrales.






**DÉCHETS FMA-VC : FAIBLE ET MOYENNE ACTIVITÉ VIE COURTE**

Ils sont essentiellement des déchets liés à la maintenance et au fonctionnement des installations nucléaires (vêtements, outils, gants, filtres…). Ces déchets sont également issus de laboratoires de recherche, d'hôpitaux, d'universités…

Ils peuvent être incinérés, fondus, enrobés dans une matrice (du ciment par exemple) ou compactés. Ils sont la plupart du temps cimentés dans des conteneurs métalliques ou en béton.



**DÉCHETS FA-VL : FAIBLE ACTIVITÉ VIE LONGUE**

Ils sont principalement :

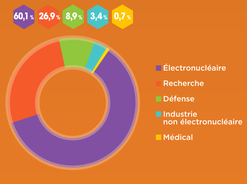
- des déchets contaminés par du radium utilisé par exemple jadis par l'industrie horlogère ;
- des déchets qui proviennent du démantèlement de réacteurs nucléaires de première génération ;
- des déchets de traitement de minéraux tels que les terres rares utilisées en électronique.

## QUI GÈRE LES DÉCHETS ?

C'est l'Agence nationale des déchets radioactifs : l'Andra.
La loi française interdit le stockage en France de déchets radioactifs étrangers.

## ORIGINE DES DÉCHETS

**Répartition par secteur économique du volume de déchets (en équivalent conditionné) déjà stockés ou destinés à être pris en charge par l'Andra, à la fin 2020.**
*(source : Andra, Essentiels 2022)*




**Le PNGMDR**

Retrouvez le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) en flashant le QR code.

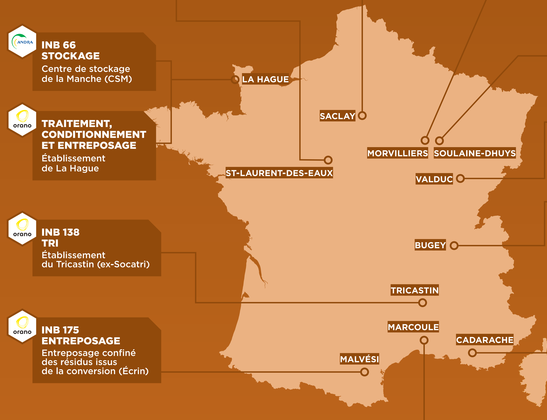
10.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception-réalisation : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : Andra – Photos : H. Samson/ASN, Orano, Frédéric Dano, P. Lesage/Orano, Andra, EDF
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

QUE FAIRE DES DÉCHETS RADIOACTIFS ?

# AUJOURD'HUI, OÙ SONT LES DÉCHETS ?

**Les déchets radioactifs sont, selon leur nature, entreposés sur leur site de production ou dans des installations dédiées, en attente d'une solution de gestion ou stockés dans des centres spécialisés.**




INB : Installation nucléaire de base
ICPE : Installation classée pour la protection de l'environnement
● En attente de mise en service
★ Relève du statut des ICPE
▲ Relève du statut des INB

*Source : Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2018.*

**INB 74 ENTREPOSAGE**
Entreposage de chemises de graphite irradiées

**INB 35 TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT**
Zone de gestion des effluents liquides (ZGEL)

**CONDITIONNEMENT, ENTREPOSAGE ET STOCKAGE** ★
Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)

**INB 66 STOCKAGE**
Centre de stockage de la Manche (CSM)

**INB 149 CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE**
Centre de stockage de l'Aube (CSA)

**TRAITEMENT, CONDITIONNEMENT ET ENTREPOSAGE**
Établissement de La Hague

**ENTREPOSAGE** ▲
Bâtiment d'entreposage de déchets tritiés

**INB 173 CONDITIONNEMENT ET ENTREPOSAGE**
Installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés (Iceda)

**INB 138 TRI**
Établissement du Tricastin (ex-Socatri)

**CONDITIONNEMENT ET ENTREPOSAGE** ★
Rotonde

**INB 175 ENTREPOSAGE**
Entreposage confiné des résidus issus de la conversion (Écrin)

**INB 37-A TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT**
Station de traitement des déchets solides (STD)

**INB 164 ENTREPOSAGE**
Conditionnement et entreposage de déchets radioactifs (Cedra)

**INB 177 ENTREPOSAGE** ●
Déchets irradiants ou alpha issus du démantèlement (Diadem)

**TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT** ▲
CDS

**TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT** ▲
Stema

**INB 160 TRAITEMENT ET CONDITIONNEMENT**
Centre de traitement et de conditionnement de déchets de faible activité (Centraco)

**INB 171 TRAITEMENT**
Atelier de gestion avancée et de traitement des effluents (Agate)

**DÉCHETS VTC : VIE TRÈS COURTE**
Ils sont entreposés sur leur lieu de production, un temps suffisant pour permettre la décroissance de la radioactivité avant d'être éliminés.

**DÉCHETS TFA : TRÈS FAIBLE ACTIVITÉ**
Volume déjà produit : 586 000 m³*
Ils sont stockés dans un centre spécialisé situé à Morvilliers (Aube) et exploité par l'Andra. Leur volume total, après démantèlement du parc électronucléaire, est estimé à environ 2,2 millions de m³.

**DÉCHETS FMA-VC : FAIBLE ET MOYENNE ACTIVITÉ VIE COURTE**
Volume déjà produit : 971 000 m³*
Ils sont stockés dans deux centres de stockage de surface : celui de la Manche, fermé depuis 1994, et celui de l'Aube, ouvert en 1992 et exploité par l'Andra.

**DÉCHETS FA-VL : FAIBLE ACTIVITÉ VIE LONGUE**
Volume déjà produit : environ 93 800 m³
Les déchets FA-VL sont pour la plupart déjà produits ou le seront lors du démantèlement des centrales nucléaires de première génération. Aujourd'hui, ces déchets sont entreposés sur leurs sites de production ou sur des sites ayant accueilli des activités utilisant historiquement la radioactivité, ou à Morvilliers.

**DÉCHETS MA-VL : MOYENNE ACTIVITÉ VIE LONGUE**
Volume déjà produit : environ 42 900 m³*
En attendant la création d'un centre de stockage profond, ils sont le plus souvent entreposés sur les sites où les colis sont produits.

**DÉCHETS HA : HAUTE ACTIVITÉ**
Volume déjà produit : environ 4 190 m³*
En attendant la création d'un centre de stockage profond, ils sont le plus souvent entreposés sur les sites où les colis sont produits.

** En 2020 (source : Andra, Essentiels 2022).*

## ENTREPOSAGE OU STOCKAGE ?

L'entreposage et le stockage sont deux opérations différentes.

### LE STOCKAGE A UN CARACTÈRE DÉFINITIF

Les déchets doivent pouvoir rester en sûreté dans leur espace de stockage, indéfiniment, sans intervention humaine.

### L'ENTREPOSAGE A UN CARACTÈRE TEMPORAIRE

Les déchets sont placés dans une installation pour une durée déterminée. Il nécessite un entretien et des interventions humaines. On entrepose des déchets pour les mettre en attente, pour les regrouper, ou encore pour attendre que leur radioactivité ou leur température décroisse.

**Andra**
Découvrez l'inventaire national de l'Andra en flashant le QR code.

## EN DÉBAT QUE FAIRE DES DÉCHETS ?

**Selon l'étude réalisée en 2019 par l'IRSN, 9 % seulement des Français accepteraient d'habiter près d'un centre de stockage de déchets radioactifs, contre 28 % qui accepteraient de loger près d'une antenne-relais de téléphonie mobile et 13 % dans une zone inondable.**

**Les déchets nucléaires existent aujourd'hui et il faut tout mettre en œuvre pour concevoir la solution la plus sûre pour les stocker.**

**Il faut gérer les déchets que nous fabriquons aujourd'hui afin de ne pas reporter le problème sur les générations futures.**

10.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception-réalisation : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

QUE FAIRE DES DÉCHETS RADIOACTIFS ?

# LE STOCKAGE DES DÉCHETS

## DE HAUTE ACTIVITÉ ET MOYENNE ACTIVITÉ À VIE LONGUE

**Le projet Cigéo (centre industriel de stockage radiologique) est dédié au stockage des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue en couche géologique profonde, afin de protéger la santé de l'Homme et l'environnement des risques radiologiques et chimiques liés à ces déchets pendant des centaines de milliers d'années. Le site retenu se situe à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne, là où un laboratoire de recherche existe déjà.**

## LE PROJET CIGÉO EN DÉTAIL



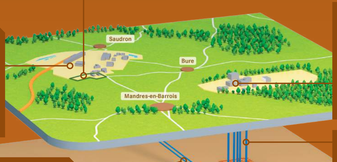

### COMMENT FONCTIONNERA CIGÉO ?

Cigéo sera composée d'installations de surface et d'une installation souterraine. Les installations de surface permettront principalement de recevoir et de contrôler les colis de déchets. L'installation souterraine, prévue à environ 500 mètres de profondeur, représentera une surface d'environ 15 km² dans laquelle les colis de déchets seront stockés au moyen de dispositifs robotisés dans des tunnels horizontaux appelés « alvéoles », creusés au cœur d'une couche d'argilite.

Ces zones de stockage seront développées de façon modulaire sur une durée séculaire pour permettre la construction progressive des alvéoles dans lesquelles seront introduits les colis de déchets. Ces derniers représentent un volume de 85 000 m³. Une fois l'ensemble des colis de déchets stockés, l'installation souterraine sera fermée et les installations de surface démantelées. Une phase de surveillance sur plusieurs centaines d'années sera alors mise en place.

**LABORATOIRE SOUTERRAIN**
L'installation souterraine de Cigéo se développera de façon progressive sur une durée séculaire.

**ZONE DE DESCENDERIE**
Cette zone, distante de quelques kilomètres de la zone dédiée aux travaux, sera composée de bâtiments qui permettront la réception des colis de déchets, leur contrôle et leur préparation avant leur transfert vers l'installation souterraine.



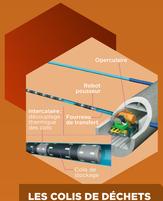

**ZONE PUITS**
Cette zone, située à l'aplomb de l'installation souterraine, servira notamment de support au creusement et à la construction des ouvrages souterrains. Les déblais issus du creusement de ces ouvrages seront stockés sur cette zone.

**DOUBLE DESCENDERIE**
Une première descenderie permettra le transfert des colis de déchets vers l'installation souterraine. Une seconde descenderie servira d'accès technique.

**PUITS**
Cinq puits verticaux relieront l'installation souterraine à la zone dédiée aux travaux souterrains pour permettre le transfert du personnel, des matériels et des engins, la remontée des déblais et la ventilation des ouvrages souterrains.

**ZONE DE STOCKAGE MA-VL**
Les colis de déchets de moyenne activité vie longue (MA-VL) seront stockés dans des alvéoles de stockage horizontales de plusieurs centaines de mètres de longueur et d'une dizaine de mètres de diamètre.

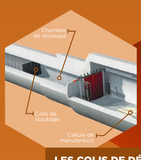
**ZONE DE STOCKAGE HA**
Les colis de déchets haute activité (HA) seront stockés dans des alvéoles d'une centaine de mètres de longueur et d'environ 80 cm de diamètre revêtues d'un chemisage en acier.




**LES COLIS DE DÉCHETS HAUTE ACTIVITÉ (HA)**
Ils seront stockés dans des alvéoles d'une centaine de mètres de longueur et d'environ 70 cm de diamètre revêtues d'un chemisage métallique.

**INSTALLATION SOUTERRAINE**
L'installation souterraine de Cigéo se développera au fur et à mesure de l'exploitation, en fonction des besoins, et sera composée de différentes zones.






**LES COLIS DE DÉCHETS DE MOYENNE ACTIVITÉ VIE LONGUE (MA-VL)**
Ils seront stockés dans des alvéoles de stockage horizontales de quelques centaines de mètres de longueur et d'une dizaine de mètres de diamètre.

### UN PROJET TRÈS CONTRÔLÉ

L'ASN participe à l'élaboration de la réglementation relative à la gestion des déchets radioactifs, assure le contrôle de la sûreté, de la conception au démantèlement, des installations de stockage.

Saisi par l'ASN, l'IRSN évalue les dossiers remis dans le cadre de la loi ou du PNGMDR (Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs) par l'Andra, maître d'ouvrage du projet, au fur et à mesure de l'avancement de celui-ci.

L'IRSN rend des avis à l'ASN. Pour certains dossiers, il remet son rapport d'expertise au groupe permanent d'experts sur les « déchets » placé auprès de l'ASN.

Ce groupe rassemble une quarantaine de spécialistes d'horizons divers : géologues, hydrogéologues, géomécaniciens, spécialistes des mines, de la sûreté nucléaire… Il rend des avis et recommandations à l'ASN.

**Le calendrier de Cigéo**
est disponible
en flashant ce QR code

### LES ÉTAPES DU PROJET DE CRÉATION DE CIGÉO

**2012**

**2013**
Débat public

**2015**

**2016**
Dossier d'options de sûreté
Dossier d'options techniques de récupérabilité
Projet de plan directeur
Préparation des aménagements au niveau local

**2017**

**2018**

**2019**
Dépôt du décret d'autorisation de création (DAC)

**2020**
Dépôt de la demande de déclaration d'utilité publique (DUP)

**2021**

**2022**
Finalisation puis dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC)
Décret de déclaration d'utilité publique (DUP)

**2023**

**2024**

**2025**
Décret d'autorisation de création (DAC)

Études d'avant-projet sommaire

Études d'avant-projet définitif

Évaluation DAC

**2035**
Autorisation de mise en service

**2150**
Fermeture du stockage
Début de la phase de surveillance

10.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception-réalisation : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : Andra – Photos : IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

QUE FAIRE DES DÉCHETS RADIOACTIFS ?

# LE CAS DU PROJET CIGÉO

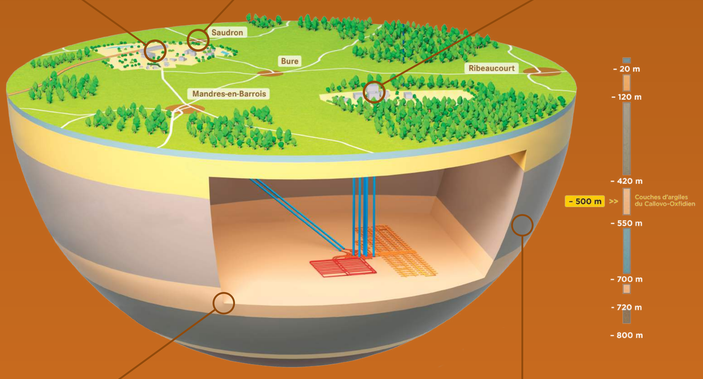
La **question** du stockage géologique est **sensible en raison des risques** associés aux déchets à vie longue. Les contraintes sont très importantes car l'installation doit être sûre pendant des centaines de milliers d'années…

## EN DÉBAT
## LES ENJEUX DU STOCKAGE GÉOLOGIQUE

**CHALEUR**
Les déchets de Haute Activité (HA) dégagent de la chaleur. Or, au-delà de 90 °C, le comportement de la roche est difficile à prédire.
Le projet Cigéo prévoit que les déchets refroidissent en surface avant d'être stockés, afin de ne pas dépasser cette température et de réduire les incertitudes. Cela implique de devoir bien gérer l'entreposage des déchets en surface.

**TRANSPORT**
De nouvelles infrastructures ferroviaires ou routières seront construites pour assurer le transport des déchets depuis leurs lieux d'entreposage dans des conditions sûres.
Concentrer les déchets en un seul endroit entraînera de nombreux convois convergeant vers la destination. Les risques liés au transport en seront accrus.

**DÉGAGEMENTS GAZEUX**
Certains déchets dégagent de l'hydrogène non radioactif. Au-delà d'une certaine quantité, l'hydrogène présente un risque d'explosion en présence d'oxygène.
Des systèmes de ventilation sont prévus. La conception des systèmes de ventilation doit garantir l'étanchéité du site.




**STABILITÉ ET RÉSISTANCE DU SOL**
La couche d'argilite de plus de 100 mètres d'épaisseur dans laquelle le site serait construit s'est mise en place il y a 150 millions d'années et a peu évolué depuis. De plus, ces argilites ont des caractéristiques d'imperméabilité et de résistance qui en font un très bon bouclier naturel.
Des événements sismiques pourraient créer un jeu de failles qui porterait atteinte à la capacité de l'argile à contenir la radioactivité. Mais encore faut-il que le temps de remontée des éléments radioactifs soit plus court que leur durée de vie.
La sûreté du projet Cigéo repose sur la capacité de l'argile à servir de barrière sur une très longue période.

**PROBLÉMATIQUE DE L'EAU**
Les strates du sous-sol sont gorgées d'eau. Ces aquifères constituent des ressources en eau importantes pour l'Homme.
Une contamination causée par le stockage pourrait compromettre leur exploitation.
Le site d'implantation de Cigéo a été choisi pour asseoir l'installation dans une zone dépourvue d'aquifères importants et très imperméable.

### RÉVERSIBILITÉ

Il est exigé que le stockage des déchets dans Cigéo soit réversible pendant une durée d'au moins 100 ans, c'est-à-dire que l'on puisse pendant cette période sortir des colis en cas de problème.

Si cela est prévu dans le projet de l'Andra, certains ont des doutes sur la faisabilité économique (et même technique) de l'extraction des colis une fois stockés.

### RESSOURCES

Les zones présentant un intérêt exceptionnel en matière de ressources souterraines doivent être évitées. Cette exigence répond à la volonté de ne pas priver les populations des bénéfices d'une ressource locale de grande importance et également de limiter le risque d'une intrusion dans le stockage au cas où la mémoire de son existence viendrait à être perdue.

### RISQUES D'EXPLOITATION

L'exploitation du site va durer une centaine d'années et les risques « classiques » pour une installation nucléaire ne peuvent pas être négligés : criticité, incendie, confinement, ventilation, chute de colis…

Pour dessiner l'installation, on étudie tous les aspects spécifiques : profondeur, taille, durée d'exploitation, constructions et exploitations concomitantes.
Les risques sont analysés dans les dossiers de sûreté.

**En savoir plus**
sur le projet

10.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception-réalisation : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustration : Andra
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

# LES ACTEURS DU NUCLÉAIRE





11.1 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Joseph Gobin/Médiathèque IRSN, Dean Calma/IAEA
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

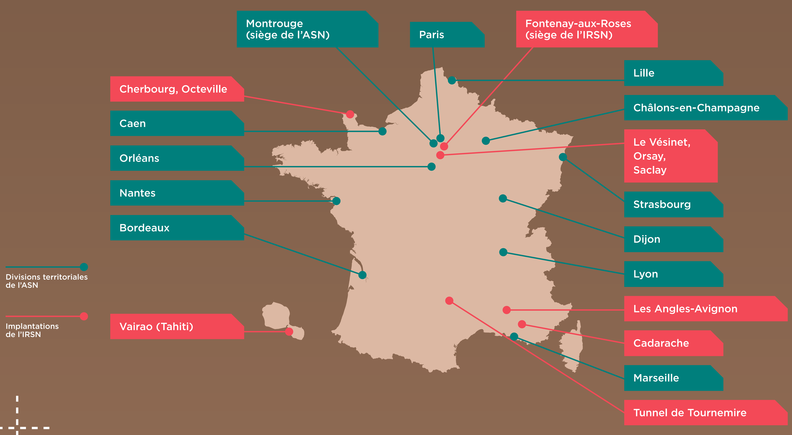
asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES ACTEURS DU NUCLÉAIRE

# L'ASN ET L'IRSN : LE CONTRÔLEUR ET L'EXPERT

**L'ASN et l'IRSN veillent à la sûreté des activités et installations nucléaires en France et à la radioprotection de l'Homme et de l'environnement. Leurs missions sont distinctes mais complémentaires.**




## L'ASN : AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**Réglementation :** l'ASN contribue à l'élaboration de la réglementation, en donnant son avis au Gouvernement sur les projets de décrets et d'arrêtés ministériels et en prenant des décisions réglementaires à caractère technique.

**Autorisation :** l'ASN instruit les demandes d'autorisation des installations et activités nucléaires. Elle accorde toutes les autorisations sauf celles liées à la création ou au démantèlement des installations nucléaires de base.

**Contrôle :** l'ASN vérifie le respect des règles et des prescriptions auxquelles sont soumises les installations ou activités nucléaires. Elle dispose de pouvoirs de coercition et de sanctions gradués.

L'inspection représente l'activité de contrôle principale de l'ASN qui en réalise plus de 1700 par an.

L'ASN **informe** le public et les parties prenantes et rend compte de son activité au Parlement.

Ses 320 inspecteurs s'intéressent aux aspects techniques et matériels mais également aux facteurs sociaux, organisationnels et humains.

L'ASN participe à la gestion des situations d'urgence.

**Le site de l'ASN**
En découvrir plus
en flashant le QR code suivant.

## L'IRSN : INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'IRSN apporte son **expertise** et son appui technique et opérationnel aux pouvoirs publics et aux autorités, en particulier en cas de crise ou de situation d'urgence radiologique.

Il veille à la **radioprotection** des travailleurs et de la population et assure la surveillance radiologique de l'environnement.

Il définit et met en œuvre des **programmes de recherche** nationaux et internationaux.

Il met en œuvre une démarche d'ouverture à la société sur ses activités d'expertise et de recherche au travers d'un **dialogue régulier** avec les parties intéressées.

Il contribue à la **formation** en sûreté et sécurité nucléaires, et en radioprotection.

Il contribue à l'**information du public** sur les risques nucléaires et radiologiques.

Il réalise des expertises, des recherches, des analyses et des mesures pour des organismes publics ou privés.

Plus de 1700 chercheurs, experts et collaborateurs y travaillent en partageant ces valeurs : **indépendance, connaissance, proximité.**

**Le site de l'IRSN**
En découvrir plus
en flashant le QR code suivant.

## EN DÉBAT
## L'ASN ET L'IRSN SONT-ILS VRAIMENT INDÉPENDANTS ?

**L'ASN et l'IRSN sont des organismes chargés, au nom de l'État, de réaliser respectivement le contrôle et l'expertise de la sûreté nucléaire sur le territoire national.**

**Leurs financements étant publics, sont-ils vraiment indépendants vis-à-vis du gouvernement ?**

**Dans le domaine nucléaire, la marche vers la transparence a été longue et difficile.**

**L'indépendance de l'ASN a été assurée par la loi « Transparence et Sécurité Nucléaire » de 2006. Cinq commissaires, nommés pour un mandat unique de 6 ans, dirigent l'ASN. Ils ne peuvent être révoqués par le gouvernement même si leurs décisions déplaisent.**

**Les activités de recherche de l'IRSN sont généralement réalisées dans le cadre de programmes internationaux et jugées sur des critères scientifiques.**

**Ainsi, l'IRSN maintient et développe son expertise en sûreté et radioprotection.**

11.2 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES ACTEURS DU NUCLÉAIRE

# QUI ÉLABORE LES RÈGLES DE RADIOPROTECTION ?

Des experts, des scientifiques discutent des résultats de recherche au sein d'organisations **internationales** et proposent des règles que les pays peuvent intégrer dans leurs **lois** ou **réglementations**.




**ÉTUDES SCIENTIFIQUES INTERNATIONALES**
Un consensus scientifique est élaboré au niveau international à partir des études faites dans les différents pays.




**PRINCIPES GÉNÉRAUX, DOCTRINE**
À partir de considérations scientifiques, économiques et sociales, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) propose un mode de gestion du risque radiologique.

**D'AUTRES ORGANISMES INTERVIENNENT DANS LEUR DOMAINE DE COMPÉTENCE**

- AEN (Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE)
- IRPA (*International Radiation Protection Agency*)
- FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)
- OIT (Organisation internationale du travail)
- PAHO (Organisation panaméricaine de la santé)
- OMS (Organisation mondiale de la santé)
- ICRU (Commission internationale des unités de mesure des rayonnements)
- ISO (Organisation internationale de normalisation)
- CEI (Commission électrotechnique internationale)

Toutes ces organisations se concertent au sein de l'IACRS. Ce comité interagences créé en 1990 facilite l'harmonisation en radioprotection.
Enfin, Herca, association créée en 2007 à l'initiative de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) française, rassemble les responsables des autorités européennes compétentes en radioprotection.
Autant de structures qui apportent leur pierre à l'édifice dans le respect de leur rôle respectif.

**LÉGISLATION NATIONALE**
La réglementation nationale vise à protéger les travailleurs, les personnes du public et les patients exposés aux rayonnements ionisants.




**STANDARDS PRÉRÉGLEMENTAIRES**
L'AIEA et la Commission européenne élaborent des normes de radioprotection qui s'imposent aux États.




11.3 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Illustrations : Hervé Bouilly/Source : IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES ACTEURS DU NUCLÉAIRE

# LES ACTEURS DE LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**En France, de nombreux acteurs participent à la sûreté nucléaire et à la radioprotection des installations et activités nucléaires civiles.**

## GOUVERNEMENT : MINISTÈRES CHARGÉS DE LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE ET DE LA RADIOPROTECTION

- Réglementation générale
- Décisions majeures concernant les installations nucléaires de base (autorisations de création, de démantèlement)

## PARLEMENT : ASSEMBLÉE NATIONALE, SÉNAT

- Contrôle
- Vote des lois
- Audition des acteurs

## AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

- Réglementation
- Autorisation
- Contrôle
- Information du public
- Participation à la gestion des situations d'urgence

## INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

- Appui technique aux autorités de sûreté
- Expertise et recherche sur les risques nucléaires et radiologiques
- Information du public
- Participation à la gestion des situations d'urgence

## SEPT GROUPES PERMANENTS D'EXPERTS

- Avis (assortis ou non de recommandations) pour l'Autorité de sûreté nucléaire

## INDUSTRIELS ET PROFESSIONNELS : ANDRA, ORANO, CEA, EDF… HÔPITAUX ET PROFESSIONS MÉDICALES, CENTRES DE RECHERCHE, UTILISATEURS DE RAYONNEMENTS IONISANTS

- Premiers responsables de la sûreté de leurs installations et activités

## ORGANISATIONS NON GOUVERNEMENTALES

- Vigilance
- Expertise citoyenne et proposition
- Questionnement
- Information et participation

## COMMISSIONS LOCALES D'INFORMATION

- Instances pluralistes auprès de chaque installation nucléaire de base
- Suivi, information, concertation, recours à l'expertise
- Fédérées au sein de l'ANCCLI

## CITOYENS

- Droit à l'information et à la participation
- Connaissance des actions de protection
- Vigilance
- Questionnement

## HAUT COMITÉ POUR LA TRANSPARENCE ET L'INFORMATION SUR LA SÉCURITÉ NUCLÉAIRE

- Instance d'information, de concertation et de débat
- Avis et propositions sur la sécurité nucléaire et la transparence

## ACTEURS DE LA SANTÉ PUBLIQUE

- Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (missions de sécurité sanitaire)
- Haute Autorité de santé (actions dans le domaine de la radioprotection)
- Haut Conseil de la santé publique (conseil et expertise dans le domaine de la santé publique)
- Institut national du cancer (actions de lutte contre le cancer)

## AUTRES ORGANISMES

- Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle d'un accident nucléaire (propositions de stratégies de gestion des situations post-accidentelles)
- Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques (instance consultative sur les risques technologiques)



11.4 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photo : Sophie Brändström/Signatures/Médiathèque IRSN
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

asn AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LES ACTEURS DU NUCLÉAIRE

# LES COMMISSIONS LOCALES D'INFORMATION

**Les commissions locales d'information (CLI) sont des instances locales pluralistes d'information et de concertation chargées du suivi de l'impact et de la sûreté des installations nucléaires.**



## LES MISSIONS D'UNE CLI

La CLI développe sa propre réflexion et adopte une attitude interrogative vis-à-vis de ses divers interlocuteurs dans ses missions :

- suivre l'impact des installations nucléaires ;
- informer la population par les moyens qu'elle juge les plus appropriés ;
- réfléchir dans des commissions thématiques ;
- réaliser des expertises indépendantes : surveillance de l'environnement, suivi des visites décennales… ;
- être une force de proposition : la CLI de Gravelines a, par exemple, demandé la mise en place d'un barrage flottant dans l'avant-port pour protéger l'arrivée d'eau en cas de pollution maritime, elle a aussi demandé l'élargissement du territoire couvert par le dispositif d'alerte téléphonique automatique de la population.

## QUI PARTICIPE À LA CLI ?

La CLI se réunit régulièrement. Elle est composée d'élus locaux, de représentants d'associations de protection de l'environnement, de représentants des salariés, de représentants du monde économique local et d'experts et de représentants de l'État étranger si ce dernier est frontalier du département où est implanté le site nucléaire.

Les représentants de l'Autorité de sûreté nucléaire et de l'exploitant peuvent assister aux séances de la CLI.



## L'ANCCLI

L'Association nationale des comités et commissions locales d'information (ANCCLI) fédère les expériences et les attentes des CLI et porte leurs voix auprès des instances nationales et internationales.

Ses objectifs sont les suivant :

- **favoriser l'échange** d'expériences et la mise en commun d'informations entre les CLI ;
- **représenter l'ensemble des CLI,** aux niveaux national et international, sur tous les sujets qui peuvent les concerner (loi sur la transparence, déchets, vieillissement des centrales, transport des matières radioactives, surveillance de l'environnement, démantèlement…) ;
- **faire procéder à des études** et expertises sur tout sujet lié à la protection de l'environnement et à la sûreté nucléaire ;
- **offrir un soutien logistique** aux CLI ;
- **organiser différentes démarches pédagogiques** à l'attention des CLI (visites, expositions…) ;
- **assurer les relations avec les instances nationales :** ministères, Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sûreté nucléaire (HCTISN), Autorité de sûreté nucléaire (ASN), Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et les organismes internationaux (Commission européenne…).

## LES CLI VOUS INFORMENT

Les CLI disposent de sites internet sur lesquels les actualités et les comptes-rendus de réunion sont diffusés publiquement.




**Les CLI contribuent à l'information sur les comprimés d'iode**

11.5 Conception : Directions de la communication ASN et IRSN – Mai 2022
Conception et réalisation graphiques : www.kazoar.fr – Pictos : Freepik, Kazoar – Photos : Lachaume François/IRSN, CLI de Cadarache
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN. Pour toute information : contact@irsn.fr

AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE


asn
AUTORITÉ
DE SÛRETÉ
NUCLÉAIRE


IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE