



Radioactivité en France

Source : IRSN

linternaute.com et wikipedia

Rang	Ville/Site	Département	Dose/heure
1	AIGUILLE DU MIDI	Haute-Savoie (74)	258.3 nanosievert/heure
2	MONTLUCON	Allier (3)	224.9 nanosievert/heure
3	BALLON DE SERVANCE	Haute-Saône (70)	193.6 nanosievert/heure
4	PIC DU CANIGOU	Pyrénées-Orientales (66)	170.9 nanosievert/heure
5	ROANNE	Loire (42)	169.3 nanosievert/heure
6	SAINT ETIENNE	Loire (42)	157 nanosievert/heure
7	USSEL	Corrèze (19)	150.1 nanosievert/heure
8	LE PUY DE DOME	Puy-de-Dôme (63)	145.2 nanosievert/heure
9	BASTIA	Haute-Corse (2B)	142.1 nanosievert/heure
10	PERPIGNAN	Pyrénées-Orientales (66)	137.5 nanosievert/heure
11	VANNES	Morbihan (56)	135 nanosievert/heure
12	LUNEVILLE	Meurthe-et-Moselle (54)	134.8 nanosievert/heure
13	SAINT FLOUR	Cantal (15)	123.8 nanosievert/heure
14	AJACCIO CAMPO DEL ORO	Corse-du-Sud (2A)	123.8 nanosievert/heure
15	LE PUY EN VELAY	Haute-Loire (43)	122.9 nanosievert/heure
16	POITIERS	Vienne (86)	122.1 nanosievert/heure
17	LIMOGES	Haute-Vienne (87)	121.3 nanosievert/heure
18	COLMAR	Haut-Rhin (68)	121 nanosievert/heure
19	SAINT LAURENT DES EAUX EDF	Loir-et-Cher (41)	116.5 nanosievert/heure
20	CLERMONT FERRAND	Puy-de-Dôme (63)	115.4 nanosievert/heure
21	TOULOUSE	Haute-Garonne (31)	115.2 nanosievert/heure
22	STRASBOURG	Bas-Rhin (67)	114.9 nanosievert/heure
23	NANTES	Loire-Atlantique (44)	114.1 nanosievert/heure
24	AVALLON	Yonne (89)	113.6 nanosievert/heure
25	BESANCON	Doubs (25)	113.5 nanosievert/heure
26	CATTENOM EDF	Moselle (57)	113.2 nanosievert/heure
27	BRIVE LA GAILLARDE	Corrèze (19)	111.7 nanosievert/heure
28	MONT VENTOUX	Provence-Alpes-Côte d'Azur (84)	110.7 nanosievert/heure
29	BEAUMONT AREVA	Manche (50)	110.5 nanosievert/heure

30	PIC DU MIDI DE BIGORRE	Hautes Pyrenees (65)	109.6 nanosievert/heure
31	WISSEMBOURG	Bas-Rhin (67)	108.9 nanosievert/heure
32	NEVERS	Nièvre (58)	108.9 nanosievert/heure
33	BRESSUIRE	Deux-Sèvres (79)	108.7 nanosievert/heure
34	VESOUL	Haute-Saône (70)	108.2 nanosievert/heure
35	SARREGUEMINES	Moselle (57)	108 nanosievert/heure
36	BREST GUIPAVAS	Finistère (29)	107.5 nanosievert/heure
37	NEUFCHATEAU	Vosges (88)	107.1 nanosievert/heure
38	BAR SUR AUBE	Aube (10)	106.5 nanosievert/heure
39	STRASBOURG ENTZHEIM	Bas-Rhin (67)	106.3 nanosievert/heure
40	BRENNILIS EDF	Finistère (29)	104.1 nanosievert/heure
41	ANGERS	Maine-et-Loire (49)	102.9 nanosievert/heure
42	MILLAU	Aveyron (12)	101.5 nanosievert/heure
43	BOURGES	Cher (18)	101.2 nanosievert/heure
44	NIMES	Gard (30)	100.8 nanosievert/heure
45	CIVAUX EDF	Vienne (86)	100.7 nanosievert/heure
46	CHATEAUROUX	Indre (36)	100.5 nanosievert/heure
47	TOURS PARCAY	Indre-et-Loire (37)	100.2 nanosievert/heure
48	DAMPIERRE EDF	Loiret (45)	99.2 nanosievert/heure
49	CHINON EDF	Indre-et-Loire (37)	98.7 nanosievert/heure
50	FIGEAC	Maine-et-Loire (46)	98.4 nanosievert/heure
51	SOISSONS	Aisne (2)	97.5 nanosievert/heure
52	ROUSSY LE VILLAGE	Moselle (57)	97.2 nanosievert/heure
53	BEAUMONT ANDRA	Manche (50)	96.2 nanosievert/heure
54	CASTRES	Tarn (81)	94.5 nanosievert/heure
55	LE CERN	Ain (1)	94.5 nanosievert/heure
56	CHALON SUR SAONE	Saône-et-Loire (71)	93.7 nanosievert/heure
57	ORLEANS	Loiret (45)	93.1 nanosievert/heure
58	TOURS	Indre-et-Loire (37)	91.6 nanosievert/heure
59	BAYONNE	Pyrénées Atlantiques (64)	90.8 nanosievert/heure
60	TRICASTIN EDF	Drôme (26)	90.7 nanosievert/heure
61	LE VESINET	Yvelines (78)	90.6 nanosievert/heure
62	CHAMBERY	Savoie (73)	90.1 nanosievert/heure
63	MONT DE MARSAN	Landes (40)	89.2 nanosievert/heure
64	BRIANCON	Hautes-Alpes (5)	89 nanosievert/heure
65	VENDOME	Loir-et-Cher (41)	88.7 nanosievert/heure
66	SACLAY CEA	Essonne (91)	88.6 nanosievert/heure
67	BOULOGNE SUR MER	Pas-de-Calais (62)	88.3 nanosievert/heure
68	BREST ARSENAL	Finistère (29)	88.1 nanosievert/heure
69	MONTELMAR ANCONE	Drôme (26)	87.4 nanosievert/heure
70	METZ	Moselle (57)	86.8 nanosievert/heure

71	ETAIN ROUVRES	Meuse (55)	86.8 nanosievert/heure
72	PERIGUEUX	Dordogne (24)	85.9 nanosievert/heure
73	SOULAINES ANDRA	Aube (10)	85.8 nanosievert/heure
74	VALENCIENNES	Nord (59)	85.7 nanosievert/heure
75	BEAUMONT	Manche (50)	85.5 nanosievert/heure
76	SAINT LO	Manche (50)	85.5 nanosievert/heure
77	CADARACHE CEA	Bouches-du-Rhône (13)	85.4 nanosievert/heure
78	NICE COTE D AZUR	Alpes-Maritimes (6)	85.2 nanosievert/heure
79	MONTAUBAN	Tarn-et-Garonne (82)	83.7 nanosievert/heure
80	MARCOULE AREVA	Gard (30)	83.7 nanosievert/heure
81	ROISSY ADP	Seine-et-Marne (77)	82.7 nanosievert/heure
82	FLAMANVILLE EDF	Manche (50)	82 nanosievert/heure
83	PHENIX EDF	Gard (30)	81.8 nanosievert/heure
84	MAUBEUGE SOMANU	Nord (59)	81.6 nanosievert/heure
85	LYON ST EXUPERY	Rhône (69)	81.2 nanosievert/heure
86	RENNES	Ille-et-Vilaine (35)	81.2 nanosievert/heure
87	GRENOBLE	Isère (38)	81.1 nanosievert/heure
88	CHARTRES	Eure-et-Loir (28)	81 nanosievert/heure
89	L AIGLE	Orne (61)	79.8 nanosievert/heure
90	AGEN	Lot-et-Garonne (47)	79.5 nanosievert/heure
91	LYON	Rhône (69)	79.4 nanosievert/heure
92	DIJON	Côte-d'Or (21)	79.4 nanosievert/heure
93	LILLE LESQUIN	Nord (59)	79.3 nanosievert/heure
94	CRUAS EDF	Ardèche (7)	79.3 nanosievert/heure
95	SENS	Yonne (89)	79 nanosievert/heure
96	CHALONS EN CHAMPAGNE	Marne (51)	78.9 nanosievert/heure
97	GOLFECH EDF	Tarn-et-Garonne (82)	78.5 nanosievert/heure
98	LA ROCHELLE	Charente Maritime (17)	78.1 nanosievert/heure
99	CHOOZ A EDF	Ardennes (8)	78 nanosievert/heure
100	LA DEFENSE	Hauts-de-Seine (92)	76.5 nanosievert/heure
101	CHERBOURG FORT DU ROULE	Manche (50)	75.8 nanosievert/heure
102	GRENOBLE CEA	Isère (38)	75.7 nanosievert/heure
103	CAEN	Calvados (14)	75.6 nanosievert/heure
104	FONTENAY AUX ROSES CEA	Hauts-de-Seine (92)	75.4 nanosievert/heure
105	FESSENHEIM EDF	Haut-Rhin (68)	74.8 nanosievert/heure
106	RUSTREL	Provence-Alpes-Côte d'Azur (84)	73.9 nanosievert/heure
107	MONTPELLIER	Hérault (34)	73.9 nanosievert/heure
108	CHARLEVILLE MEZIERES	Ardennes (8)	73.6 nanosievert/heure
109	BEAUVAIS	Oise (60)	73 nanosievert/heure

110	AMIENS	Somme (80)	72.1 nanosievert/heure
111	ROUEN	Seine-Maritime (76)	72.1 nanosievert/heure
112	LES ULIS	Essonne (91)	72 nanosievert/heure
113	NICE	Alpes-Maritimes (6)	71.6 nanosievert/heure
114	CHERBOURG ARSENAL	Manche (50)	71.2 nanosievert/heure
115	MARSEILLE	Bouches-du-Rhône (13)	71.2 nanosievert/heure
116	NANTUA	Ain (1)	71.2 nanosievert/heure
117	ORLY	Val de Marne (94)	70.9 nanosievert/heure
118	AVIGNON	Provence-Alpes-Côte d'Azur (84)	70.9 nanosievert/heure
119	DUNKERQUE	Nord (59)	70.9 nanosievert/heure
120	LE HAVRE	Seine-Maritime (76)	69.9 nanosievert/heure
121	NOGENT SUR SEINE	Aube (10)	69.7 nanosievert/heure
122	VALENCE	Drôme (26)	68.7 nanosievert/heure
123	BELLEVILLE EDF	Nièvre (58)	68.5 nanosievert/heure
124	SAINT BRIEUC	Côtes-d'Armor (22)	68.1 nanosievert/heure
125	BUGEY EDF	Ain (1)	68.1 nanosievert/heure
126	CREYS MALVILLE EDF	Isère (38)	67.8 nanosievert/heure
127	LES LILAS	Seine-Saint-Denis (93)	67.5 nanosievert/heure
128	BRUYERES LE CHATEL	Essonne (91)	66.8 nanosievert/heure
129	BLAYAIS EDF	Gironde (33)	65.2 nanosievert/heure
130	VALDUC CEA	Côte-d'Or (21)	65.1 nanosievert/heure
131	ANGOULEME	Charente (16)	64.9 nanosievert/heure
132	DIEPPE	Seine-Maritime (76)	64.5 nanosievert/heure
133	TOULON	Var (83)	64.2 nanosievert/heure
134	SAINT ALBAN EDF	Isère (38)	63.4 nanosievert/heure
135	PENLY EDF	Seine-Maritime (76)	62.7 nanosievert/heure
136	MELUN	Seine-et-Marne (77)	61.5 nanosievert/heure
137	PALUEL EDF	Seine-Maritime (76)	61.5 nanosievert/heure
138	GRAVELINES EDF	Nord (59)	60.8 nanosievert/heure
139	TOULON ARSENAL	Var (83)	60.8 nanosievert/heure
140	MEAUX	Seine-et-Marne (77)	59.6 nanosievert/heure
141	BORDEAUX	Gironde (33)	58.9 nanosievert/heure
142	LE MANS	Sarthe (72)	57.5 nanosievert/heure
143	SAINT DENIS STADE DE FRANCE	Seine-Saint-Denis (93)	57 nanosievert/heure
144	BIARRITZ ANGLET	Pyrénées Atlantiques (64)	57 nanosievert/heure
145	VINCENNES	Val de Marne (94)	53.3 nanosievert/heure
146	PARIS	Paris (75)	49.7 nanosievert/heure
147	DIGNE LES BAINS	Alpes-de-Haute-Provence (4)	44.3 nanosievert/heure

Le **sievert** (symbole: **Sv**) est l'unité dérivée du système international pour l'équivalent de dose, et vise à évaluer quantitativement l'impact biologique d'une exposition à des rayonnements ionisants. La dose équivalente correspond à l'énergie reçue par unité de masse, corrigée d'un facteur de pondération du rayonnement qui prend en compte la dangerosité relative du rayonnement considéré. Le sievert correspond donc à une joule par kilogramme multiplié par un facteur de correction sans unité. Cette unité est nommée en hommage à Rolf Sievert, physicien suédois, célèbre pour ses travaux sur la mesure des doses de radiations et ses recherches sur les effets biologiques des radiations.

Est-ce dangereux ?

Les taux moyens calculés en nanosieverts par heure par L'Internaute se situent tous largement en dessous des seuils considérés comme acceptables par les autorités. On considère aujourd'hui que la radioactivité a un effet direct sur l'organisme à partir de 50 millisieverts par an. En France, la limite autorisée pour les personnels exposés (personnels travaillant dans une centrale par exemple), est de 20 millisieverts sur douze mois glissants par personne. En extrapolant nos résultats sur une année, aucune des données obtenues ne dépasserait les 3 millisieverts par an (2,2627 mSv/an à l'Aiguille du Midi).

(NB : 1 millisievert = 1 000 000 de nanosieverts)

Seuils d'exposition à la radioactivité

Seuils d'exposition

Seuil des manifestations neurologiques

Risque d'effet cancérogène

Dose la plus faible pour effet cancérogène, dose à la thyroïde nécessitant la prise diode, effet suspectés sur le fœtus

Exposition exceptionnelle sous autorisation spéciale

Limite d'exposition des travailleurs du secteur nucléaire

Irradiation naturelle et artificielle moyenne en France

Source : IRSN

Débit de dose gamma
(par habitant)

20 000 millisievert/an

500 millisievert/an

100 millisievert/an

40 millisievert/an

20 millisievert/an

3,5 millisievert/an

Méthodologie et mise en garde

L'Internaute a basé exclusivement son enquête sur la **radioactivité de l'air ambiant**, prenant en compte l'ensemble des mesures répertoriées en la matière par l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire. N'ont pas été prises en compte en revanche les mesures de la

radioactivité dans l'eau, les sols, la faune, la flore et les produits alimentaires ainsi que la mesure des gaz et aérosols radioactifs.

Pour refléter les taux de radioactivité les plus récents, L'Internaute a relevé toutes les mesures effectuées sur l'air ambiant entre le 1er et le 15 mars 2011. **Une moyenne a été calculée pour chaque site** de prélèvement à partir de ces données en nanosievert par heure pour obtenir le classement.

Il s'agit donc bien d'extrapolations qui donnent une photographie de la radioactivité sur chaque site à un instant "t", non pas un bilan précis de la radioactivité sur une année pleine. De même, les textes explicatifs donnent un aperçu des sources reconnues de cette radioactivité sans mesurer précisément l'impact de chaque source sur le résultat global.

Les rayons gamma

Il existe trois types de rayonnements radioactifs : les rayons alpha, les rayons beta et les **rayons gamma**. Ces derniers, s'ils ne sont pas les plus ionisants (destructeurs ou dangereux), sont les plus pénétrants. Plusieurs couches de béton sont en effet nécessaires pour les stopper et ils atteignent aisément les tissus du corps humain. C'est pourquoi l'ASN, dans l'air ambiant, se focalise sur ce type de rayon.

Si la radioactivité peut se mesurer en becquerel ou en gray, c'est le **sievert** (millisievert ou nanosievert) qui a été choisi pour ces mesures, car il reflète plus fidèlement la "dose efficace", c'est-à-dire la dose susceptible d'impacter réellement le corps humain sur un laps de temps donné (heure, jour, année). Contrairement au becquerel, le sievert tient compte en effet de la quantité d'énergie ionisante absorbée, du type de rayonnement et de la sensibilité des divers organes et tissus aux lésions créées par le rayonnement. Il présente donc l'avantage de placer tous les types d'exposition humaine sur une même échelle des risques.

Incertitudes

Les mesures réalisées sur l'air ambiant sont effectuées par des dosimètres ou des sondes automatiques qui permettent un contrôle permanent de la radioactivité à proximité des sites nucléaires, mais aussi dans les grandes villes. Pour chaque mesure, l'IRSN indique un taux d'incertitude, qui découle des propriétés de l'instrument, de l'opérateur, de l'environnement de la mesure (température, vibrations) ou de la procédure de mesure. Ces taux d'incertitude n'ont pas été présentés dans ce dossier.



Les résultats obtenus cumulent par ailleurs, sans pouvoir les distinguer, deux grands types de radioactivité : **la radioactivité artificielle** (rejets réglementés des installations nucléaires, médecine nucléaire, essais atmosphériques d'après guerres, nuage de Tchernobyl...) et **la radioactivité naturelle** (rayonnement du sol ou tellurique et rayonnement du soleil ou cosmique). Celle-ci est notamment favorisée dans les zones montagneuses ou granitiques.

Dans la mesure des rayonnements gamma, il est impossible de distinguer, pour chaque mesure, les différents types de rayonnement (artificiel ou naturel). Plusieurs organismes ont cependant calculé des moyennes en fonction du type d'exposition :

Exposition moyenne en France

Type d'exposition

Débit de dose gamma (par habitant)

Exposition naturelle (dont:)

Radon (gaz radioactif émanant du sous sol)

1,4 millisievert/an

Rayonnement terrestre

0,5 millisievert/an

Rayonnement cosmique

0,3 millisievert/an

Éléments absorbés par alimentation (potassium 40)

0,2 millisievert/an

Exposition artificielle (dont:)

1 millisievert/an

Expositions médicales (radiographies, scanners, radiothérapies)

0,8 millisievert/an

Industries nucléaires civiles et militaires (centrales, mines, retombées d'essais ou Tchernobyl)

0,1 millisievert/an

TOTAL

3,4 millisievert/an

Dans le Système international d'unités :

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

Le sievert est donc homogène au gray, autre unité utilisée en radiologie qui mesure l'énergie absorbée par unité de masse indépendamment de son effet biologique.

Par rapport au gray, le sievert tient compte de deux facteurs supplémentaires sans dimension (Q et N), qui traduisent l'effet relatif du rayonnement considéré sur l'organe considéré, par rapport à un rayonnement de référence.

- La dose absorbée, D , se calcule directement en gray : c'est l'énergie absorbée par unité de masse considérée.
- La dose équivalente, H , est le produit de la dose absorbée D de rayonnements ionisants par un facteur sans dimension : Q (facteur de pondération traduisant à énergie équivalente l'effet relatif des différents rayonnements).

- La dose efficace, E , est le produit de la dose équivalente H et d'un facteur sans dimension : N (facteur de pondération traduisant la plus ou moins grande sensibilité du tissu aux rayonnements).

Ces deux facteurs de pondérations sont prescrits par la Commission internationale de protection radiologique (ICRP). Ainsi, pour une radiation donnée, la valeur numérique de E en joules par kilogramme peut être différente de la valeur numérique de D en joules par kilogramme, puisqu'elle est fonction de la valeur de Q et de N . Afin d'éviter tout risque de confusion entre la dose absorbée D et l'équivalent de dose H , il faut employer les noms spéciaux pour les unités correspondantes, c'est-à-dire qu'il faut utiliser le nom "gray" au lieu de "joule par kilogramme" pour l'unité de dose absorbée D et le nom "sievert" au lieu de "joule par kilogramme" pour l'unité d'équivalent de dose H ^[2].

Le facteur de qualité Q reflète l'efficacité biologique relative de la radiation. En voici quelques valeurs :

- Photons, toutes énergies (rayons X, rayons gamma) : $Q = 1$
- Électrons, positrons et muons, toutes énergies : $Q = 1$
- Neutrons : fonction continue
 - $Q = 2,5$ pour des énergies < 10 keV et des énergies > 1 GeV
 - Entre 10 keV et 1 GeV, courbe gaussienne avec un maximal à $Q = 20$ pour une énergie de 1 MeV.
- Protons, énergie > 2 MeV : $Q = 5$
- Particules alpha et autres noyaux atomiques : $Q = 20$

Le facteur N , quant à lui, *peut* représenter entre autres l'espèce irradiée (les insectes sont beaucoup plus résistants aux radiations que les mammifères, par exemple), la susceptibilité du tissu ou de l'organe irradié (il est plus dangereux d'irradier la moelle osseuse que l'émail dentaire), ou encore corriger la dose reçue en fonction de son rythme d'accumulation (deux doses équivalentes en termes d'énergie déposée ne le sont pas si elles sont reçues sur des durées différentes) ou de sa concentration volumique (une dose concentrée sera différente d'une dose diffuse).

Voici quelques valeurs de N pour les organes et tissus :

- Gonades : $N = 0,20$
- Estomac, gros intestin, moelle osseuse, poumon : $N = 0,12$
- Cerveau, œsophage, foie, muscles, pancréas, petit intestin, rate, rein, sein, thyroïde, utérus, vessie : $N = 0,05$
- Peau, surface des os : $N = 0,01$

Et voici quelques valeurs de N (relatives aux humains) pour divers organismes :

- Virus, bactéries, protozoaires : $N \approx 0,03 - 0,0003$
- Insectes : $N \approx 0,1 - 0,002$
- Mollusques : $N \approx 0,06 - 0,006$
- Plantes : $N \approx 2 - 0,02$
- Poissons : $N \approx 0,75 - 0,03$
- Amphibiens : $N \approx 0,4 - 0,14$
- Reptiles : $N \approx 1 - 0,075$

- Oiseaux : $N \approx 0,6 - 0,15$
- Humain : $N = 1$

Effet des doses d'irradiations

Les mécanismes à l'œuvre dans le cas d'effets stochastiques (mesurés donc par des sieverts) et dans le cas d'effets déterministes (le Gy suffit) n'ont rien à voir :

- effets stochastiques : n'ont pour le moment été mis en valeur que par l'étude de populations soumises à des rayonnements relativement faibles (typiquement Hiroshima ou les travailleurs du nucléaire) pendant une longue période.
- effets déterministes : sont observables directement après (ou peu après) une irradiation intense. Ces effets ont été découverts au début de l'étude de la radioactivité. Cette découverte a abouti à la création de l'ancêtre de la CIPR ou ICRP en anglais.

Les facteurs Q et N sont proposés par la CIPR mais ils ont un caractère arbitraire, il leur est déjà arrivé de varier notablement (à la hausse ou à la baisse) suivant l'idée que les spécialistes de la question se faisaient du risque. Typiquement le facteur 0,20 qui s'applique aux gonades tient compte du risque de transmettre les conséquences de l'irradiation à ses enfants. Ce risque n'a pour le moment pas encore été clairement mesuré, mais comme on doit attendre dans le cadre du suivi que les descendants soient suffisamment vieux pour valider ou non l'incidence de l'irradiation des gonades, par précaution on applique ce facteur de 0,20. Dans sa dernière recommandation (CIPR 103, page 332), la commission recommande même de réduire ce coefficient de 0,20 à 0,08.

Le sievert sert à quantifier un risque ciblé sur un organe particulier, et capture généralement l'effet stochastique induit par de faibles rayonnements (le risque de contracter dans 20 ans un cancer suite à une exposition). En revanche, utiliser le sievert pour quantifier l'effet d'un rayonnement important (typiquement de l'ordre du Gy) est incorrect, car pour un tel rayonnement l'effet n'est pas stochastique mais déterministe : une dose de 8 Gy est dite létale, elle implique une mort certaine.

Les doses massives sont généralement reçues accidentellement, et sur l'ensemble du corps ; l'unité qui permet de mesurer cette exposition est le Gy. En revanche, les doses ponctuelles étudiées en radiothérapie ou en radiotoxicité sont généralement plus faibles, et dirigées sur un organe donné ; l'unité qui mesure le risque correspondant est le sievert.

Dose reçue et signes cliniques

Les signes cliniques sont observés pour des irradiations massives, reçues sur une période très courte.

Commentaire : conformément à l'article sur les irradiations aiguës, il est incorrect d'utiliser le Sievert lorsque l'on évoque les effets déterministes (ou non-stochastique) des rayonnements.

- 20 Sv - Pour une dose supérieure à 40 Sv : on observe un syndrome nerveux avec convulsions, coma et mort instantanée^[31].

Toutefois, ces accidents étant extrêmement rares, les descriptions cliniques ne peuvent être établies totalement par l'épidémiologie.

- 10 Sv - Pour une dose supérieure à 8 Sv : on observe un syndrome gastrointestinal avec diarrhées aiguës, hémorragie digestive menant à la mort. La mort est pratiquement certaine pour des doses supérieures à 10 Sv.
- 5 Sv - On définit l'irradiation aiguë globale comme étant la dose tuant 50 % des sujets exposés au rayonnement ionisant. Cette valeur admet un intervalle de 3 à 4,5 Sv. Elle est accompagnée d'un syndrome hématologique s'étalant sur une trentaine de jours. Aucun traitement n'est administré.
- 2 Sv - Pour une dose de 2 à 4 Sv : on observe en pratique clinique un syndrome hématopoïétique. Les populations de lymphocytes et globules blancs diminuent considérablement. On parle de lymphopénie, leucopénie et l'irradiation peut mener à une anémie (carence en globules rouges).
- 1 Sv - L'homme présente des signes cliniques dus aux irradiations à partir d'une dose unique équivalente à 1000 mSv (soit 1 Sv), dénommé le « mal des rayons ». L'individu est alors systématiquement hospitalisé.
- 0,5 Sv - L'observation des nettoyeurs de Tchernobyl a révélé une morbidité anormalement élevée sans signe clinique spécifiquement lié à l'irradiation, suggérant un syndrome immunodéficient radioinduit. Le risque de mortalité s'élève de 14 % par sievert dans les trente années suivant la radio-exposition avec un seuil de 0,5 Sv^[4].
- 0,1 Sv : l'étude des victimes de Hiroshima et Nagasaki n'a pas révélé de risque statistiquement significatif de cancers pour des doses aux organes inférieures à 100 mSv=0,1 Sv^[5]. Au-dessus, on estime que le risque de développer un cancer mortel pour ce type d'irradiation (en une exposition uniforme de très courte durée) est de 0,05 par Sv^[6].

Pour des doses inférieures, et pour des doses cumulées reçues sur des durées longues, il n'y a pas d'effet déterministe observé. « Le terme "faible" dose définit toute dose pour laquelle un effet biologique ne peut être décelé en raison des limites de sensibilité des techniques actuellement disponibles. Des seuils de sensibilité de 2 cGy pour la détection d'une augmentation de la fréquence d'aberrations chromosomiques et de 20 cGy pour celle du risque de cancer ont été retenus au coût d'une analyse extensive de cas et ce par plusieurs équipes. »^[7]. En revanche, de nombreuses études montrent que des faibles expositions (inférieures à 0,1 Sv) stimulent les mécanismes protecteurs des cellules^[8].

L'irradiation excessive est révélée par la présence de prodromes comme la nausée, la diarrhée, un sentiment de fatigue et de malaise. Par ailleurs, il a été observé que la déplétion lymphocytaire résultant de l'exposition à un rayonnement ionisant était directement proportionnelle à la dose efficace. Lors d'une probable irradiation chez un sujet, on effectue alors deux prises de sang à trois heures d'intervalle pour évaluer les éventuelles variations de la population lymphocytaire.

L'irradiation a également un effet stochastique : elle provoque une augmentation du risque de cancer, fonction de la dose reçue. Cet effet peut être détecté statistiquement.

Exposition aux rayonnements

Une particule ne transmet qu'une énergie négligeable. À une dose de 1 mSv dans les tissus mous correspond dans l'air les flux suivants, exprimés en nombre de particules par cm²^[9] :

Énergie (MeV)	Électron (bêta)	Photon (gamma)	Neutron
10^{-8} à 10^{-3}			$9,6 \cdot 10^7$
10^{-2}	$2,6 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^8$	$6,5 \cdot 10^7$
10^{-1}	$1,5 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^9$	$2,0 \cdot 10^8$
1	$3,1 \cdot 10^6$	$2,0 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^6$
10	$3,0 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^6$

Il faut une très grande activité (exprimée en Becquerel) pour créer un risque réel pour la santé, tant que l'exposition se limite aux rayonnements à distance, sans contact avec la matière radioactive.

Par exemple, une exposition externe à une contamination de $4\,000 \text{ Bq} / \text{m}^2$ (ordre de grandeur des retombées constatées en France suite à Tchernobyl) d'une radioactivité que l'on suppose (pour le calcul) bêta à 1 MeV correspondrait à un flux d'électrons de $0,4 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ électrons, donc une irradiation de $0,4 / 3,1 \cdot 10^{-6} = 0,13 \cdot 10^{-6} \text{ mSv} \cdot \text{s}^{-1}$. Une exposition annuelle (soit pendant $32 \cdot 10^6$ secondes) à un rayonnement de cette amplitude conduit à une irradiation de $0,4 / 3,1 \times 32 = 4 \text{ mSv}$, soit deux fois la dose moyenne naturelle, soit encore l'ordre de grandeur de la limite annuelle autorisée pour la population civile (à titre de comparaison, la dose absorbée pour une radio de poumon est de l'ordre de $0,3 \text{ mSv}$).

En revanche, l'activité d'un radio-élément peut être plus dangereuse quand il est métabolisé.

Ordres de grandeur et réglementation

Par commodité, on utilise couramment le millisievert (mSv).

- Dose annuelle moyenne reçue en France : $\sim 2,4 \text{ mSv/an/personne}$ ^[10].
- La région du Kerala en Inde est connue pour des taux de radioactivités très forts : jusqu'à 70 mGy/an ^[11] Le rayonnement naturel fait l'objet de rapport de l'UNSCEAR : [ISBN 978-92-1-142274-0](https://www.iaea.org/publications/142274).
- Limite autorisée pour l'exposition de la population aux rayonnements artificiels, en France : $1 \text{ mSv/an/personne}$ (Code de la santé publique, Article R1333-8).
- Limite autorisée pour les personnels exposés, en France : 20 mSv sur douze mois glissants par personne (Dosimétrie réglementaire), dosimétrie mensuelle fixée à $1,5 \text{ mSv}$, dosimétrie fixée par les entreprises à 16 mSv/an (Code du travail, Article R231-76).
- Une radiographie des poumons : $0,3 \text{ mSv}$ ^[12]
- Un voyage Paris-New York aller et retour : $0,08 \text{ mSv}$, soit $9,5 \mu\text{Sv}$ par heure (en avion long-courrier non supersonique, dose due au rayonnement cosmique supplémentaire à environ $10\,000$ mètres d'altitude en croisière, hors périodes d'éruption solaire touchant la Terre)^{[12][13]} : la dose reçue dépend essentiellement de l'altitude (selon le type d'appareil), du temps total de vol, de la latitude de route suivie et de la présence ou non d'escales, un peu moins de la période de l'année (proximité de la Terre avec le soleil), et de l'horaire, mais pratiquement pas de la nature matérielle de la carlingue (qui n'offre pratiquement pas d'écran à ces rayonnements sur les avions commerciaux civils). La limite annuelle d'exposition pour la population générale serait atteinte à 17 allers-retours par an sur ce trajet ; les personnels navigants dans les avions sur les

lignes intercontinentales passant à proximité des pôles sont considérés comme des personnes exposées mais ne dépassent pas la limite légale de 16 mSv/an des travailleurs exposés dans les entreprises autorisées (qui correspondrait à 272 aller-retours sur cette même ligne par an), sauf éventuellement en période de forte activité solaire pour lesquels ils peuvent faire l'objet de mesures réglementaires temporaires de protection et de surveillance (par des détecteurs placés dans les avions de ligne).

- Fumer une cigarette : 0,010 mSv^[14] (c'est-à-dire que la limite annuelle d'exposition pour la population générale en France est atteinte à environ un paquet par semaine, et dépassée à plus d'une cartouche tous les deux mois). La plupart des fumeurs dépassent très vite le seuil légal d'exposition de la population générale.
- Une centrale nucléaire française : 0,002 mSv/an (en état de fonctionnement normal, hors accident)^[12]. Ce seuil est 500 fois plus faible que le seuil légal d'exposition de la population générale. Au delà (incident sérieux), des mesures de protection de la population (et des travailleurs indispensables sur le site) peuvent être nécessaires (traitement préventif, surveillance et diversification des sources d'approvisionnement alimentaire ou en eau, confinement temporaire, procédures d'arrêt des installations) et en cas d'incident grave ces seuils peuvent être augmentés dans un périmètre défini (après évacuation de la population) une fois les autres mesures de protection effectives.

Unités équivalentes et proches

- Unités de mesure d'activité d'une source nucléaire :
 - Le becquerel (symbole : Bq), unité d'activité exprimant le nombre de transformations (anciennement désintégrations) de noyaux atomiques par seconde.
 - Le rutherford (symbole : Rd, avec 1 Rd = 1 MBq) ; ancienne unité qui n'est plus recommandée mais peut être utilisée encore dans des appareils de mesure physique comme les compteurs et les travaux sur des radiosources artificielles.
 - Le curie (symbole : Ci, avec 1 Ci ~ 37 GBq : équivalence dépendant de la nature de la radiation). Cette unité est normalement obsolète mais encore utilisée aux États-Unis pour les mesures d'efficacité des systèmes de radioprotection, et sert davantage dans les mesures d'expériences physiques et applications industrielles ou sur certains détecteurs anciens.
- Unités de mesure du flux d'énergie brute d'une radiation ionisante :
 - Le coulomb par kilogramme (symbole : C/kg ou C·kg⁻¹) ; bien qu'exprimant une charge induite ou déplacée dans une unité de masse, elle peut se retraduire aussi en énergie équivalente sur la base de la charge de l'électron (ou du proton) et de l'énergie pour le déplacer ; ne s'utilise pas pour les radiations électromagnétiques (X ou gamma), ni les flux de particules dépourvues de charge (comme les neutrons), mais peut s'utiliser parfois pour mesurer les champs électriques induits par une tension (par exemple les antennes d'émission de télécommunication ou de détection radar, bien qu'on lui préfère souvent le volt par mètre, c'est-à-dire directement la mesure moyenne de ce champ électrique), et émissions d'appareils de microscopie électronique.
 - Le röntgen ou *roentgen* (symbole : R, avec 1 R = 258 µC/kg ~ 9,330 mGy) La dose de radiation ionisante qui produit une unité CGS électrostatique d'électricité (un franklin ou statcoulomb) dans un centimètre cube d'air sec à 0 °C sous une atmosphère de pression. Unité ancienne, normalement remplacée par le coulomb par kilogramme, mais encore utilisée dans certains pays pour

définir les seuils légaux de radioprotection des populations contre les émissions ionisantes dans l'atmosphère, en raison de son ordre de grandeur mieux adapté (sur la base de la charge de l'électron et de l'énergie d'ionisation de l'air). L'unité peut être commode pour les définir des seuils préventifs contre les composés radioactifs volatiles à courte période (comme l'iode), mais s'avère peu signifiant pour la prise des rayonnements ionisants à très haute énergie, les composés radioactifs à très longue période (comme le césium), les flux de particules élémentaires chargées ou non et les rayonnements électromagnétiques (UV, X ou gamma).

Note : Le volt par mètre (symbole : V/m ou $V \cdot m^{-1}$). L'unité est utilisée pour mesurer les émissions radio (y compris radars) qui, bien que normalement non ionisantes (car d'énergie élémentaire insuffisante pour libérer un électron et ioniser la matière), peuvent induire des changements de configuration moléculaire, notamment sur des liaisons électroniques faibles de façon à induire un changement de la distribution de charge électrique dans une molécule ou un ion (y compris biologique), bloquer certaines réactions chimiques ou modifier sensiblement leurs équilibres, induire des courants électriques dangereux parmi les électrons libres d'un fluide ou solide, et empêcher un organisme de fonctionner normalement, provoquer son empoisonnement progressif ou détruire son métabolisme normal. L'unité mesure en réalité un champ électrique moyen, alors même qu'il n'y a aucune radioactivité (c'est-à-dire aucune transformation de noyaux atomiques : 0 Bq), ni absorption non réversible du rayonnement quand un effet a lieu. À l'échelle macroscopique de l'homme, les champs électriques d'origine naturelle sont rares, globalement nuls en moyenne, et n'ont d'effets que de façon très localisée, temporaire et facile à stopper (il n'y a pas d'effet cumulatif de « dose absorbée »), mais ce n'est pas le cas des nombreuses émissions artificielles d'origine humaine qui font maintenant aussi l'objet de seuils légaux d'exposition et de surveillance, exprimés dans cette unité (au moins à titre de précaution faute d'en connaître précisément les effets biologiques à moyen ou long terme).

- Unités de mesure de l'énergie totale de radiations ionisantes reçues (absorbée ou non) :
 - Le gray (symbole : Gy), à ne pas confondre avec le sievert car il ne tient pas compte de la nature des radiations ni des taux d'absorption.
 - Le rad (symbole : rd, avec 1 Gy = 100 rd) unité obsolète.
 - L'unité Mache (symbole : ME, de l'allemand *Mache-Einheit*, avec 1 ME ~ 13,468 kBq/m³), la quantité de radon par litre d'air qui ionise un courant continu de 0,001 unité CGS électrostatique par seconde (statampère), soit 0,364 nCi/L.
- Unités de mesure des doses de radiation absorbées par les systèmes vivants :
 - Le **sievert** (symbole : Sv) (ou plus souvent le millisievert mSv), unité de même dimension que le gray mais prenant en compte l'absorption moyenne par le corps humain entier.

1 Sv (sievert) (= 100 rem) = 1.000 mSv = 1.000.000 µSv

1 mSv (millisievert) (= 100 mrem) = 0,001 Sv = 1.000 µSv

1 µSv (microsievert) (= 0,1 mrem) = 0,000001 Sv = 0,001 mSv

•

- Le débit de dose radioactive ou, par abus, la « dose » (abrégé ddd, ou D°) est généralement exprimé en mSv/h (pour les sources artificielles dangereuses), et en µSv/h ou mSv/an (pour les sources naturelles et doses légales ou réglementaires admissibles).
- le *roentgen equivalent physical* (symbole : rep) dose de radiation absorbée par une masse de tissu qui y dépose la même énergie qu'un röntgen dans la même masse d'air (~8,4–9,3 mGy). L'unité est utilisée pour les radiations de particules (alpha, électrons, positons, bêta, neutron, proton, plasmas ioniques accélérés), et non électromagnétiques (X ou gamma).
- le *roentgen equivalent man* (symbole : rem, avec 1 rem = 10 mSv), ancienne unité qui n'est plus recommandée.

1 rem = 0,01 Sv = 10 mSv = 10.000 µSv

1 mrem = 0,00001 Sv = 0,01 mSv = 10 µSv

-
- DL_{xx} (xx % de la dose létale sans hospitalisation, évaluée à 10 Sv)}
- *Sunshine Unit* ou *Strontium Unit* (symbole : S.U., avec 1 S.U. ~ 1,065 pGy/s)
La contamination biologique au strontium-90 qui associe 1 pCi de ⁹⁰Sr par gramme de calcium corporel; la charge permissible est de 1000 S.U.

Notes et références

- ↑ « Unités ayant des noms spéciaux » [archive], sur le site du BIPM. Consulté le 28 février 2008.
- ↑ « CIPM, 2002: Recommandation 2 » [archive] sur le site du BIPM. Consulté le 28 février 2008.
- ↑ D'après Delahaye, "Aspects médicaux posés par l'utilisation de l'arme nucléaire", 1969.
- ↑ **(en)** D.J. Strom, *Health Impacts from Acute Radiation Exposure* [archive], Pacific Northwest National Laboratory, Operated by Battelle for the US Department of Energy, 2003.
- ↑ D'après le rapport UNSCEAR A/55/46, ISSN 0255-1381 (2000) §78.
<http://daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N00/587/21/PDF/N0058721.pdf?OpenElement> [archive]
- ↑ D'après *Estimation et gestion du risque de cancer broncho-pulmonaire engendré par les produits de filiation du radon*, Radioprotection 1997 Vol. 32, no 3, pages 331 à 355.
<http://www.radioprotection.org/index.php?option=article&access=standard&Itemid=129&url=/articles/radiopro/pdf/1997/03/ra0303.pdf> [archive]
- ↑ O. RIGAUD, *La radioadaptation : aspects cellulaires et moléculaires d'une réponse aux faibles doses de radiations ionisantes*, Radioprotection 1998 Vol. 33, no 4, pages 389 à 404. [1] [archive]
- ↑ Voir par exemple Whole-body responses to low-level radiation exposure [archive], ou Dose-effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation [archive], ou encore The Cancer Risk From Low Level Radiation: A Review of Recent Evidence [archive].
- ↑ D'après Bibliothèque des sciences et techniques nucléaires - Génie atomique, fasc. C VII - PUF 1963.
- ↑ Selon ces chiffres [archive]
- ↑ Nair, K.R.R., M.K. Nair, P. Gangadharan et al. Measurement of the natural background radiation levels in the Karunagappally Taluk, Kerala, India. p. 79-82 in: High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects (J. Peter, G. Schneider, A. Bayer et al., eds.). Volume II: Poster Presentations. BfS Schriften 24/2002. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2002. Gangadharan, P., M.K. Nair, P. Jayalekshmi et al. Cancer morbidity and mortality in a high natural background radiation area in Kerala, India. p. 510- 512 in: High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects (J. Peter, G. Schneider, A. Bayer et al., eds.). Volume II: Poster Presentations. BfS Schriften 24/2002. Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, 2002. [2] [archive] [3] [archive]
- ↑ ^{a, b et c} Document du CEA [archive]
- ↑ Sievert-System [archive] : outil de calcul des doses de rayonnement reçues lors des voyages en avion (développé par l'IRSN et la DGAC).
- ↑ Voir Risques et effets des rayonnements ionisants [archive], rapport principal de la commission Ampère [archive].

Sources

- Comité international des poids et mesures (CIPM) 1984, *Recommandation 1* (PV, 52, 31 et Metrologia, 1985, 21, 90)
- Abdeljelil Bakri, Neil Heather, Jorge Hendrichs, et Ian Ferris; *Fifty Years of Radiation Biology in Entomology: Lessons Learned from IDIDAS*, Annals of the Entomological Society of America, 98(1): 1-12 (2005)
- Article sur la mesure de la radioactivité et la protection civile sur le site Luxorion.

Tableau de conversion de sievert vers autres unités de dose équivalente

http://unit-converter.org/fr/dose_equivalente/Sv.html