

Radioactivité et radioprotection

La présente brochure contient des connaissances
élémentaires sous une forme simplifiée



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'intérieur DFI
Office fédéral de la santé publique OFSP



Radioactivité et radioprotection

La présente brochure contient des connaissances
élémentaires sous une forme simplifiée

Sommaire

Structure de la matière: atomes, molécules, isotopes	2
La radioactivité	5
Désintégrations radioactives et rayonnement ionisant	9
Effet du rayonnement ionisant sur l'homme	13
Doses annuelles de la population en Suisse	22
La radioactivité émise par les centrales nucléaires	24
Utilisation de sources de rayonnements en médecine	26
Les applications dans la technique et la recherche	27
Les déchets radioactifs	28
La radioprotection	29
La protection en situation d'urgence	30
L'échelle internationale d'évaluation des accidents de centrale nucléaire	32
Principes pour la protection de la population en cas d'augmentation de la radioactivité	34
Glossaire	36

Editeur:
Office fédéral de la santé publique
3003 Berne

Distribution:
BBL, CH-3003 Berne
www.bbl.admin.ch/bundespublikationen.ch
Art. n. 311.322.f

Composition et réalisation:
Gerber Typografik, Berne

Illustration:
Peter Marthaler, graphiste, Berne

BAG VS 7.07 15'000 d 0 f 0 i 40EXT07007
3.01 30'000 50ext01009 51190

Avant-propos

Qu'est-ce que la radioactivité ? D'où provient-elle ?
Quelles en sont les utilisations, les dangers ? Comment
dois-je me comporter vis-à-vis d'une menace possible ?
La présente brochure a pour objectif de répondre à de
telles questions en apportant des connaissances
élémentaires sous une forme simplifiée. Elle remonte à la
brochure du même nom "Radioactivité et radioprotection",
publiée en 1990 par l'Office fédéral de la santé publique
avec la collaboration de Martin Baggenstos, Hans Graf,
Otto Huber, Heinz Hugo Loosli et Werner Zeller.
Dans cette brochure nous avons naturellement dû nous
contenter d'aborder le thème complexe de la radioactivité
sous une forme simplifiée, en nous limitant à l'essentiel.
De nombreux exemples et illustrations concrétisent ce
thème souvent complexe.
Nous remercions tous ceux qui nous ont assistés dans
l'élaboration de cette nouvelle édition et nous espérons
que la brochure favorisera la discussion sur ce thème
important qu'est la radioactivité.

Berne, juillet 2007

Martin Baggenstos
Werner Zeller

Structure de la matière: atomes, molécules, isotopes

Toute matière se compose d'atomes. Les atomes sont tellement minuscules qu'on ne peut les voir à l'oeil nu. Chaque goutte d'eau, chaque cellule de notre corps contient un très grand nombre d'atomes.

Par exemple 1 goutte d'eau contient env. $10^{21} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$ atomes.

Un atome est formé d'un noyau et d'une enveloppe. Le noyau est très petit. Il est constitué de protons chargés positivement et de neutrons sans charge. L'enveloppe se compose d'électrons chargés négativement. Les atomes qui réagissent chimiquement de manière identique appartiennent au même élément. Les divers éléments chimiques se différencient par le nombre de protons dans le noyau. Dans la nature, il existe 92 éléments: de l'hydrogène avec un seul proton à l'uranium avec 92 protons. Les éléments sont désignés par un symbole.

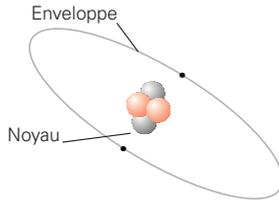
Exemples:

Hydrogène (H)	Strontium (Sr)
Hélium (He)	Iode (I)
Carbone (C)	Césium (Cs)
Oxygène (O)	Radon (Rn)
Potassium (K)	Radium (Ra)
Fer (Fe)	Uranium (U)
	Plutonium (Pu)

Le noyau d'un atome contient des protons et des neutrons, l'enveloppe se compose d'électrons.

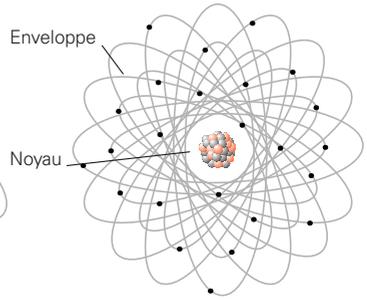
Quand deux ou plusieurs atomes s'assemblent, ils forment une molécule. Deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène composent par exemple une molécule d'eau dont la formule est H_2O .

Si le nombre d'électrons dans l'enveloppe est égal au nombre de protons dans le noyau, l'atome dans son ensemble n'est pas chargé. S'il manque des électrons, l'atome porte une charge positive, il est ionisé.



Atome d'hélium

Noyau: 2 protons
2 neutrons
Enveloppe: 2 électrons



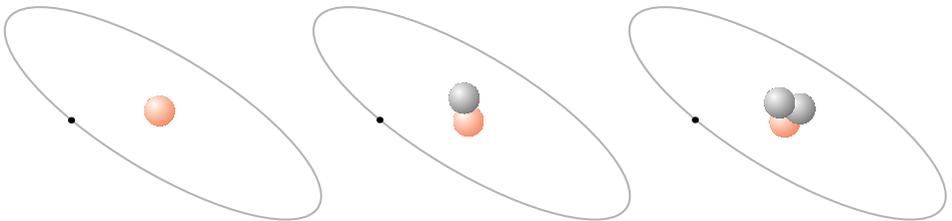
Atome d'uranium

92 protons
146 neutrons
92 électrons

On appelle ion un atome qui a trop ou trop peu d'électrons dans son enveloppe.

Les atomes d'un élément peuvent avoir un nombre variable de neutrons dans le noyau. Ainsi, un noyau d'hydrogène peut contenir un ou deux neutrons en plus du proton. Les atomes d'un élément qui ne se différencient que par le nombre de neutrons dans le noyau sont appelés isotopes de l'élément considéré.

Isotopes de l'atome d'hydrogène:



Hydrogène ordinaire	Hydrogène lourd	Hydrogène ultra-lourd
H-1	H-2 (deutérium)	H-3 (tritium)
1 proton	1 proton	1 proton
Pas de neutron	1 neutron	2 neutrons
1 électron	1 électron	1 électron

Les isotopes sont identifiés en apposant au symbole de l'élément chimique le nombre correspondant à la somme des protons et des neutrons.

Ainsi, il existe 8 isotopes du carbone : ils possèdent tous 6 protons dans leur noyau, mais un nombre variable de neutrons. Le plus répandu est le carbone-12 dont le noyau comporte 6 neutrons.

Du point de vue chimique, les isotopes d'un même élément ont un comportement identique, à quelques nuances près, mais leurs propriétés physiques comme la radioactivité, sont différentes.

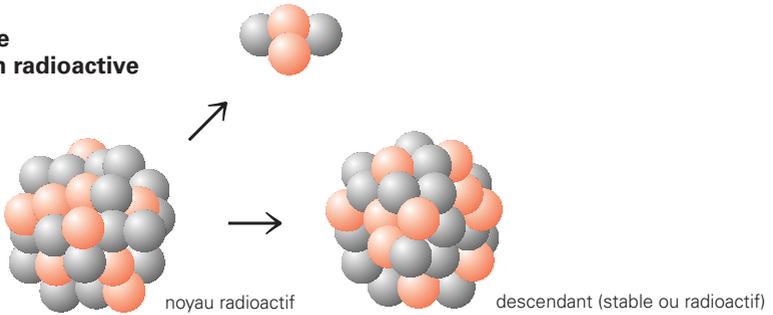
Les noyaux de composition identique sont désignés par le terme générique de nucléide. Les noyaux d'isotopes en sont donc aussi. On connaît aujourd'hui environ 2'000 nucléides.

Les isotopes d'un élément présentent des propriétés physiques différentes; certains isotopes sont radioactifs.

La radioactivité

Sur les 2'000 nucléides que l'on connaît aujourd'hui, environ 250 seulement sont stables. Les autres présentent la particularité de se transformer sans influence extérieure, ils se désintègrent tout seuls. De tels nucléides ne sont pas stables, mais radioactifs. On les appelle des radionucléides. Le processus de désintégration des radionucléides ne peut être empêché ni modifié. Lors de la désintégration, il se forme généralement des atomes d'un autre élément qui sont stables ou radioactifs à leur tour (produits de désintégration radioactifs). Les radionucléides existent dans la nature, mais il peuvent aussi être produits artificiellement.

Exemple d'une désintégration radioactive



Exemples de nucléides présents dans la nature

Carbone-12	6 protons	6 neutrons	(stable)
Carbone-13	6 protons	7 neutrons	(stable)
Carbone-14	6 protons	8 neutrons	(radioactif)
Plomb-206	82 protons	124 neutrons	(stable)
Radon-222	86 protons	136 neutrons	(radioactif)
Radium-226	88 protons	138 neutrons	(radioactif)
Uranium-235	92 protons	143 neutrons	(radioactif)
Uranium-238	92 protons	146 neutrons	(radioactif)

La plupart des éléments possèdent un ou plusieurs isotopes stables. De plus, on connaît pour chaque élément un nombre plus ou moins grand d'isotopes radioactifs.

Par exemple:

- l'hydrogène ordinaire et le deutérium sont stables, tandis que le tritium est radioactif;

- le carbone-12 et le carbone-13 sont stables, tandis que le carbone-14 est radioactif;
- le césium ne possède qu'un seul isotope stable (césium-133) alors qu'on lui connaît plus de 30 isotopes radioactifs, entre autres le césium-134 et le césium-137 qui sont d'origine artificielle;
- il n'existe pas d'isotope stable du radon ou de l'uranium.

Les noyaux radioactifs se désintègrent. La plupart du temps, il en résulte des noyaux d'un autre élément.

Loi de la décroissance radioactive

L'instant de désintégration d'un noyau radioactif pris isolément ne peut être prédit. En revanche, on sait après combien de temps la moitié d'une grande quantité de noyaux radioactifs sera désintégrée: c'est ce que l'on appelle la période (physique). Elle est caractéristique de chaque radionucléide et va de quelques fractions de seconde à des milliards d'années.

Exemples de radionuclides avec leur période d'origine naturelle

Carbone-14	5730 ans
Potassium-40	1,3 mrd d'années
Radon-222	3,8 jours
Radium-226	1600 ans
Uranium-235	700 mio. d'années
Uranium-238	4,5 mrd d'années

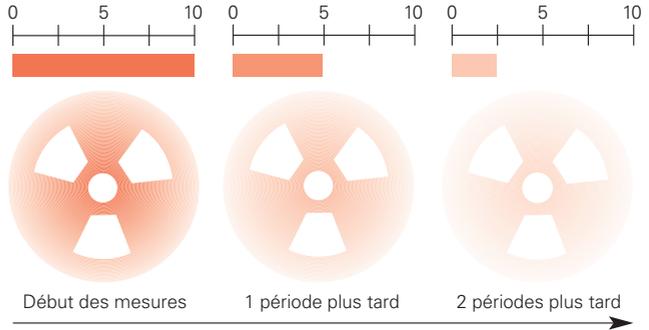
d'origine artificielle

Strontium-90	29 ans
Iode-131	8 jours
Césium-134	2 ans
Césium-137	30 ans
Plutonium-239	24'000 ans

La période d'un radionucléide est la durée à la fin de laquelle la moitié du nombre initial de noyaux s'est désintégrée.

Par exemple, l'iode-131 a une période de 8 jours, ce qui signifie qu'au bout de ce temps, la moitié de la quantité initiale d'iode-131 s'est désintégrée et que par consé-

Décroissance de l'activité avec le temps

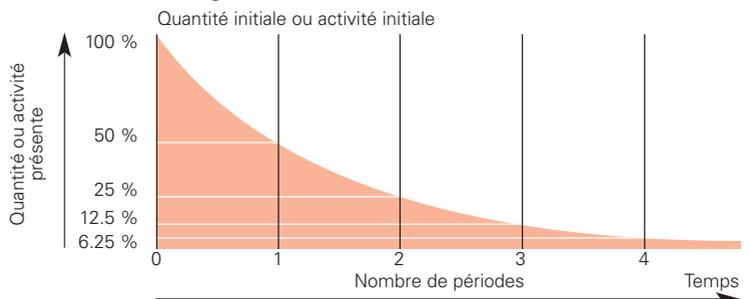


quent l'activité a aussi diminué de moitié au terme des 8 jours. Après 16 jours, l'activité est ramenée à un quart, après 24 jours à un huitième, après 32 jours à un seizième et après 3 mois, à moins d'un pour mille de l'activité initiale. Ainsi, l'iode-131 émis dans l'atmosphère après la catastrophe de Tchernobyl avait pratiquement disparu quelques mois après l'accident, tandis que l'on trouve encore maintenant des traces de césium-137, surtout dans le sol.

Unité de mesure de l'activité

On appelle activité d'une substance donnée le nombre de noyaux qui se désintègrent par unité de temps (p. ex. en une seconde). L'unité utilisée pour indiquer cette activité est le becquerel; un becquerel (Bq) signifie une désintégration par seconde.

Désintégration de radionucléides



1 Bq = 1 désintégration par seconde

L'ancienne unité utilisée pour mesurer l'activité était le curie (Ci).

1 Ci = 37 milliards de Bq

37 Bq = 1 milliardième de Curie = 1 nano-curie

Le becquerel est l'unité utilisée pour mesurer l'activité d'une substance.

Désintégrations radioactives et rayonnement ionisant

Quand les radionucléides se désintègrent, des particules de très grande vitesse sont émises. Elles ionisent la matière qui les entoure et sont ralenties par ce processus. La détection d'une telle particule permet de constater qu'il y a eu désintégration. Les principaux types de désintégration sont la désintégration alpha et bêta. Au cours des processus de désintégration de ce genre, le noyau produit souvent aussi des rayons gamma.

Lors de la désintégration radioactive, des particules alpha ou bêta sont libérées, souvent aussi des rayons gamma.

Types de désintégration

α Désintégration alpha (particules α)

Lors d'une désintégration alpha, une particule alpha est éjectée hors du noyau qui se désintègre. Cette particule correspond à un noyau d'hélium et se compose de 2 protons et de 2 neutrons. Le rayonnement alpha a une portée de quelques centimètres dans l'air et ne pénètre que de quelques fractions de millimètre dans le corps humain. Les émissions alpha surviennent par exemple lors de la désintégration du radon-222, de l'uranium-238 et du plutonium-239.

β La désintégration bêta (particules β)

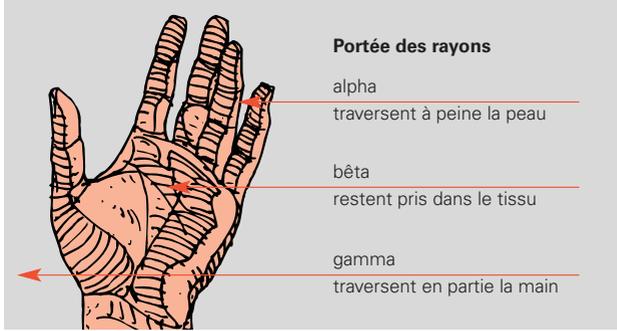
Lors d'une désintégration bêta, un électron est éjecté du noyau qui se désintègre (voir aussi glossaire). Les rayons bêta sont plus pénétrants que

les rayons alpha. Ils ont une portée de quelques mètres dans l'air et pénètrent de quelques millimètres dans le corps humain. Les rayons bêta sont produits par exemple lors de la désintégration du tritium, du carbone-14, du potassium-40, du strontium-90, du césium-134 et du césium-137.

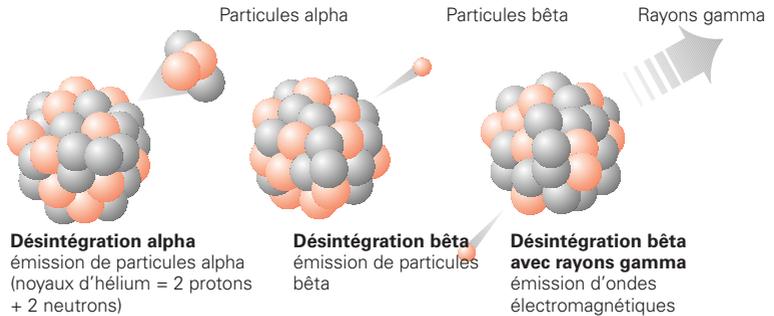
γ Les rayons gamma (rayons γ)

Une désintégration alpha ou bêta s'accompagne souvent de la production de rayons gamma qui sont des rayonnements électromagnétiques comme les rayons X, la lumière du soleil ou le rayonnement d'une lampe à rayons ultraviolets. En règle générale, les rayons gamma sont plus pénétrants que les rayons alpha et bêta. Ce rayonnement ne s'atténue que progressivement lors de son passage à travers la matière. Les rayons gamma de haute énergie traversent des centaines de mètres d'air et pénètrent dans le tissu humain jusqu'à environ un mètre de profondeur. Les rayons gamma sont émis par exemple lors de la désintégration bêta du potassium-40, du césium-134 et du césium-137, mais aussi lors de la désintégration alpha de l'uranium-238 et de ses descendants radioactifs.

Les rayons alpha, bêta et gamma produisent des ions en traversant la matière.



Types de désintégration de radionucléides



Protection contre le rayonnement ionisant

Le pouvoir pénétrant des rayons alpha, bêta ou gamma donne d'emblée une idée des mesures de protection possibles contre ces rayons. Soit on se tient à une distance suffisante de la source d'émission, soit on interpose un écran. Pour faire écran contre les rayons alpha et bêta, il suffit d'une couche de matière relativement mince.

Les rayons alpha traversent à peine la peau. Pour absorber les rayons bêta, les vêtements et des lunettes suffisent. Pour atténuer les rayons gamma, il faut un écran épais et lourd. La terre, le béton ou le plomb offrent une meilleure protection qu'une couche d'eau de même épaisseur.

Oltre les rayons alpha, bêta et gamma susmentionnés, il existe encore d'autres types de rayons, par exemple les neutrons.

**Pour atténuer les rayons gamma, il faut un écran épais et lourd.
Pour les rayons alpha et bêta, il suffit d'une mince couche de matière.**

Notre corps contient du potassium-40 naturel qui provoque une irradiation interne.

La radioactivité d'origine naturelle

La radioactivité se manifeste dans notre environnement sous une multitude de formes. Cependant, l'activité d'une substance ne permet pas à elle seule de tirer des conclusions quant à son effet ou aux lésions qu'elle peut infliger au corps humain.

Exemples:

- le corps humain contient du potassium. Il est absorbé avec la nourriture, puis éliminé par l'organisme. Une faible proportion des atomes de potassium, le potassium-40 déjà mentionné, est radioactive. L'activité dans le corps est d'environ 5'000 Bq, c'est-à-dire qu'à chaque seconde, environ 5'000 noyaux de potassium-40 se désintègrent dans notre corps en émettant des rayons bêta et gamma. Ceci conduit à une irradiation interne;
- la radioactivité naturelle du sol: 1 kg de terre contient en moyenne une activité d'env. 100 Bq due à la contribution de plusieurs radionucléides. Les rayons gamma émis au cours de ce processus constituent une partie de l'irradiation naturelle de l'homme;
- l'activité du radon-222 que l'on observe dans les maisons d'habitation est aussi d'origine naturelle : l'uranium-238, de longue période, se désintègre dans le sol, en passant par divers descendants intermédiaires, en radon-222, un gaz rare radioactif. Ce gaz peut se déplacer aisément dans le sol et parvenir par la cave dans les

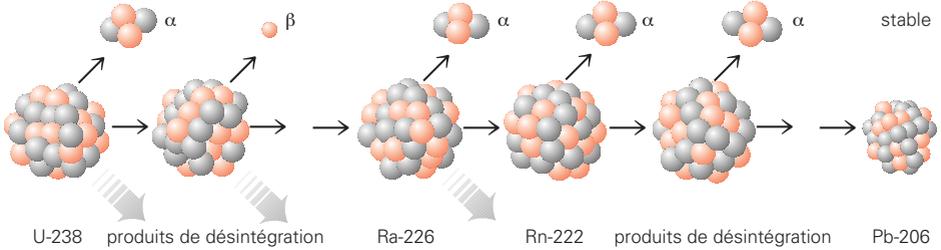


habitations. Dans les locaux fermés, il y a accumulation de radon dans l'air et partant, de ses descendants radioactifs. Ils ne se trouvent pas à l'état de gaz, mais se fixent sur les aérosols (particules de poussière) qui peuvent par la respiration se déposer dans les bronches et le tissu pulmonaire.

Dans notre environnement, il existe une radioactivité naturelle. Notre corps contient du potassium-40, l'air que nous respirons du radon-222.

Chaîne de désintégration naturelle de l'uranium-238

La chaîne de désintégration passe par le gaz rare radon-222 et va jusqu'au plomb-206



La radioactivité artificielle

La radioactivité artificielle dans notre environnement provient notamment des essais d'armes nucléaires effectués dans les années 60, de l'accident du réacteur de Tchernobyl, mais aussi de l'industrie, de la médecine et de la recherche. Après l'accident du réacteur de Tchernobyl, nous avons absorbé en Suisse, dans la nourriture, du césium-134 et du césium-137 radioactifs. C'est pourquoi la population suisse présentait en 1986 une activité moyenne de 1'000 Bq (césium-134 et

césium-137) dans le corps, ce qui a provoqué une irradiation interne.

La radioactivité artificielle dans notre environnement provient en grande partie des essais d'armes nucléaires, de l'accident du réacteur de Tchernobyl et de l'industrie nucléaire.

Les denrées alimentaires peuvent contenir des radionucléides artificiels en plus des naturels.



Effet du rayonnement ionisant sur l'homme

Dans les cellules vivantes, les rayons alpha, bêta et gamma ionisent ou excitent des atomes et des molécules, leur transmettant ainsi de l'énergie. Des composés peuvent alors se scinder et la structure chimique se modifier. Le fonctionnement des cellules et des organes risque alors d'être perturbé et cela peut se répercuter sur la santé.

On distingue entre dommages aigus (ou immédiats) et dommages tardifs. En effet, une irradiation peut provoquer des lésions immédiatement apparentes, mais elle peut aussi déclencher un cancer ou induire une affection héréditaire (altérations génétiques). Pour l'évaluation du risque sanitaire que représente l'irradiation, on a introduit d'une part la notion de dose à l'organe (pour les dommages aigus), d'autre part la dose effective (en relation avec le cancer et les affections génétiques).

La dose est la grandeur qui permet d'évaluer le risque sanitaire que représente un rayonnement ionisant.

La notion de dose

Le point de départ pour la dose à l'organe et la dose effective est l'énergie cédée par la radiation par kg de matière, par exemple à un tissu ou à un organe. L'énergie transmise est une unité purement physique que l'on peut mesurer à l'aide de dosimètres. Mais l'effet biologique dépend également de la densité des ionisations lors de la pénétration des rayons à travers le tissu. Par exemple, la densité d'ionisation est plus élevée avec des rayons alpha et des neutrons qu'avec des rayons bêta et gamma. Une densité d'ionisation élevée est biologiquement plus nocive qu'une densité d'ionisation faible. C'est pourquoi les rayons alpha sont plus nocifs, pour une énergie déposée identique, que les rayons bêta ou gamma.

Ces différences dans la nature des rayons sont exprimées par un facteur numérique: l'énergie transmise est pondérée pour chaque type de rayonnement par le facteur qui lui a été assigné (facteur de pondération du rayonnement). Les rayons X et gamma sont pris comme rayons de référence. Leur facteur de pondération du rayonne-

ment est égal à un. Pour le rayonnement alpha et neutronique, ce facteur de pondération du rayonnement est jusqu'à 20 fois supérieur. Si l'on multiplie l'énergie cédée par kg à un organe par le facteur de pondération du rayonnement, on obtient la valeur de la dose de rayons gamma qui provoquerait le même dommage à l'organe que celui dû au rayonnement auquel l'organe a effectivement été exposé. La dose ainsi calculée tient donc compte de l'énergie transmise au tissu et de l'effet biologique différent des divers types de rayons. Les doses calculées de la sorte induisent donc dans un organe un effet biologique semblable, quelle que soit la nature des rayons.

Unités de dose

L'unité de mesure de la dose à un organe et de la dose effective, qui sera décrite plus tard, est le sievert (Sv). Pour les rayons gamma et bêta, $1 \text{ Sv} = 1 \text{ joule/kg}$. Pour d'autres types de rayons, la valeur de la dose en sievert pour une absorption d'énergie identique croît proportionnellement au facteur de pondération du rayonnement. Les faibles doses sont indiquées en millisievert (mSv) ($1 \text{ Sv} = 1,000 \text{ mSv}$). L'ancienne unité utilisée était le rem qui se convertit comme suit: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.

Une dose indiquée en sievert tient compte de l'énergie transmise au tissu et de l'effet biologique du type de rayonnement.

Dommages aigus

Les dommages aigus ne surviennent que si la dose à l'organe dépasse un seuil déterminé qui est d'env. 0.5 Sv pour les organes sensibles en cas d'irradiation brève (c'est-à-dire quelques heures). Lorsqu'une dose est répartie sur une période plus longue (jours, semaines), le seuil est plus élevé. Par exemple, une opacité du cristallin peut apparaître à la suite d'une irradiation courte à partir d'env. 2 Sv; en cas d'irradiation prolongée sur une période de 40 ans, elle ne se manifestera qu'à partir d'env. 10 Sv. La dose à l'organe détermine l'ampleur d'un dommage aigu; un tel dommage n'intervient que dans le cas d'un accident grave.

Si tout le corps est exposé à l'irradiation, les premiers symptômes d'une maladie des rayons seront des modifications de la formule sanguine, des nausées, et des vomissements. Par exemple, lors d'une irradiation de courte durée à une dose de rayons gamma d'env. 4 à 5 Sv, tous les sujets exposés tomberont malades et le pronostic sera fatal pour environ 50 % d'entre eux. Une irradiation de 7 à 8 Sv entraînerait très probablement la mort à défaut de soins médicaux intenses. Les fœtus et les enfants sont plus sensibles à une irradiation que les adultes. En cas de hautes doses, un cancer ou une affection héréditaire peuvent également apparaître plus tard.

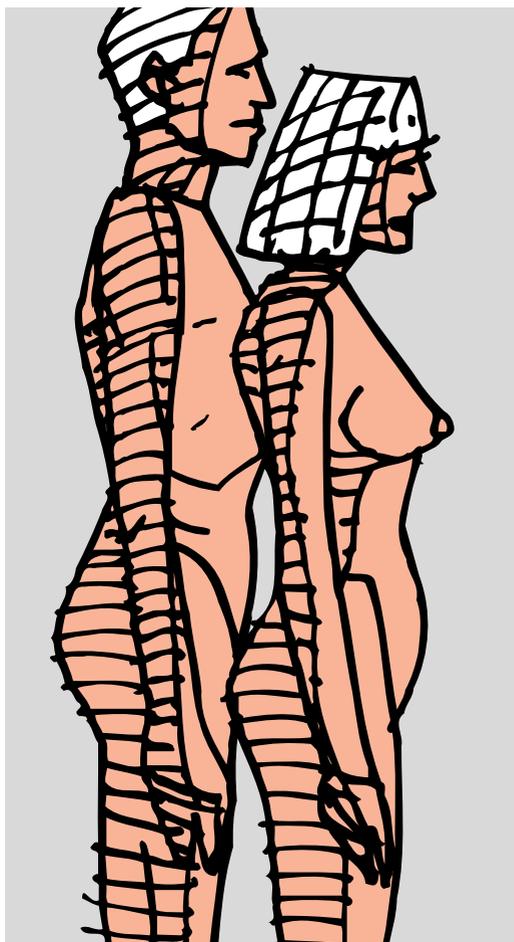
Le but de la protection de la population contre les radiations en cas d'accidents graves doit consister à éviter les dommages aigus. Les limites de dose à ne pas dépasser sont fixées à un niveau nettement inférieur au seuil critique. Les mesures de protection à mettre en oeuvre en découlent.

La dose à l'organe détermine l'ampleur d'un dommage aigu; un tel dommage n'apparaît qu'à la suite d'un accident grave.

Dommmages tardifs

Les faibles doses, produites par exemple par la radioactivité naturelle dans l'environnement ou par les examens de diagnostic médical, n'entraînent pas de dommages aigus. Cependant, des dommages tardifs peuvent apparaître dans ce domaine de doses. Un cancer ou une affection héréditaire peuvent se manifester des années après l'irradiation. On admet qu'il n'y a pas de seuil de dose pour le déclenchement d'un cancer ou d'une affection héréditaire. Des doses très faibles pourraient donc provoquer des dommages de cette nature, même si c'est peu probable. La probabilité d'un dommage tardif augmente avec l'accroissement de la dose. Il n'est donc pas possible de dire qu'une dose inférieure à un certain seuil est inoffensive et qu'au-dessus, il y a danger. D'où un principe essentiel à observer en radioprotection: les doses doivent être maintenues au niveau le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre (ALARA: as low as reasonably achievable). Pour évaluer l'effet d'une irradiation, on calcule la dose totale en additionnant toutes les doses absorbées au cours d'un laps de temps donné (p. ex. une année).

Le cancer et les affections héréditaires peuvent être provoqués même par de faibles doses. La dose détermine la probabilité d'une telle affection.



Organes particulièrement sensibles aux rayons:

moelle osseuse rouge

poumon

estomac

intestin

Dose effective en relation avec le cancer et les affections héréditaires

Les organes et les tissus du corps ne réagissent pas tous avec la même sensibilité à l'irradiation. Le risque d'un cancer est particulièrement élevé pour la moelle osseuse rouge, le poumon, l'estomac et l'intestin. L'irradiation des glandes génitales (gonades) est responsable de l'apparition d'affections héréditaires.

Si l'irradiation se limite à certains organes isolés, le risque de cancer est plus faible que si tout le corps est exposé à cette dose. Si le poumon est seul exposé à une irradiation (par exemple par les descendants radioactifs du radon), le risque d'un cancer est huit fois moindre que si tous les organes du corps absorbent la même dose. Lors d'une irradiation du corps entier, le poumon contribue donc pour env. $1/8$ (= 12%) au risque de cancer. Le pourcentage de participation au risque est environ le même pour l'estomac, l'intestin et la moelle osseuse rouge. Afin de pouvoir comparer le risque d'une irradiation partielle du corps avec celui d'une irradiation du corps entier, on introduit la notion de dose effective: les doses aux organes sont multipliées par le facteur de pondération indiquant la sensibilité de l'organe par rapport au risque de cancer et d'affections héréditaires en cas d'irradiation. Les valeurs des doses ainsi pondérées sont additionnées pour donner une "dose totale" appelée dose effective qui exprime le risque global d'apparition d'un cancer ou d'une affection héréditaire pour le sujet irradié.

Cette grandeur tient compte de l'énergie absorbée, du type de rayonnement, de la sensibilité différente des organes affectés et donc aussi de la répartition de l'irradiation dans le corps.

La dose effective tient compte de la sensibilité des organes au cancer et aux affections héréditaires à la suite d'une irradiation.

L'unité de mesure de la dose effective est le sievert.

Souvent il est aussi intéressant de connaître la dose par unité de temps (débit de dose). L'unité de débit de dose utilisée dans la pratique est le microsievert par heure ($1 \mu\text{Sv/h} = 10^{-6} \text{Sv/h}$).

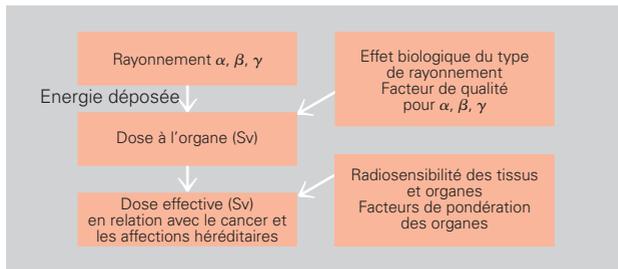


Schéma de calcul d'une dose à l'organe et d'une dose effective

Ci-après, quand il sera question de "dose", on entendra toujours la dose effective, à moins qu'une précision soit mentionnée (p. ex. dose au poumon, à la glande thyroïde ou aux gonades). Par ailleurs, il faut noter que l'effet sur l'homme est le même qu'il s'agisse de radioactivité artificielle ou naturelle.

Cancer et affections héréditaires

Dans la plupart des cas, le cancer et les affections héréditaires ne peuvent être imputés à la radioactivité. C'est pourquoi une augmentation de la fréquence de cancers ou d'affections héréditaires à la suite d'une radioactivité artificielle est souvent comparée à la fréquence naturelle. Ceci est surtout indiqué lorsque les doses artificielles sont faibles par rapport aux doses naturelles.

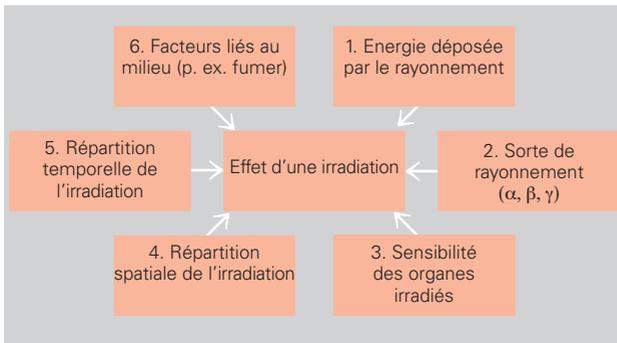
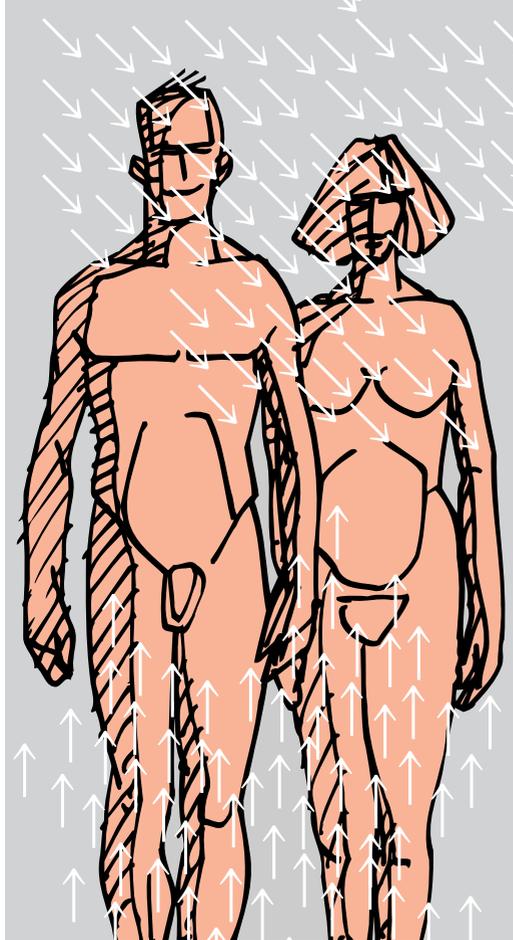


Schéma de diverses grandeurs pouvant influencer sur l'effet d'une irradiation

L'apparition de cancers et d'affections héréditaires présente une certaine marge de dispersion. L'incidence de petites doses supplémentaires s'inscrit dans le cadre de cette marge naturelle et ne peut être saisie statistiquement. C'est pourquoi on ne peut que calculer l'augmentation de la mortalité par le cancer due à de faibles doses supplémentaires. On y parvient en partant du nombre de cas de cancers déterminé pour une forte dose et en extrapolant le nombre pour une faible dose. La fréquence supplémentaire de cancers ainsi calculée est alors comparée à la fréquence naturelle. On admet que sur 100'000 personnes irradiés à une dose de 10 mSv, le nombre de personnes supplémentaires présentant un cancer mortel est de 50. En Suisse, env. 25 % des habitants meurent du cancer, dont une faible proportion seulement est due à la radioactivité (naturelle et artificielle). En extrapolant, on peut par exemple estimer que les doses provoquées par l'accident de Tchernobyl vont augmenter la mortalité par cancer d'environ 0,1 pour mille en Suisse au cours des 30 prochaines années (une génération). Un accroissement aussi faible passe inaperçu parce qu'il se situe dans la marge de fluctuation naturelle.



Et pourtant, les valeurs des doses sont calculées avec assez de précision pour permettre de juger si une activité qui conduit à une exposition aux radiations est justifiée. Enfin, les effets de la radioactivité doivent être comparés aux autres risques auxquels l'homme est exposé quotidiennement dans l'exercice de ses activités.

Le rayonnement terrestre et cosmique provoque une irradiation externe

Résumé

Divers paramètres influencent le risque d'une irradiation pour la santé de l'homme.

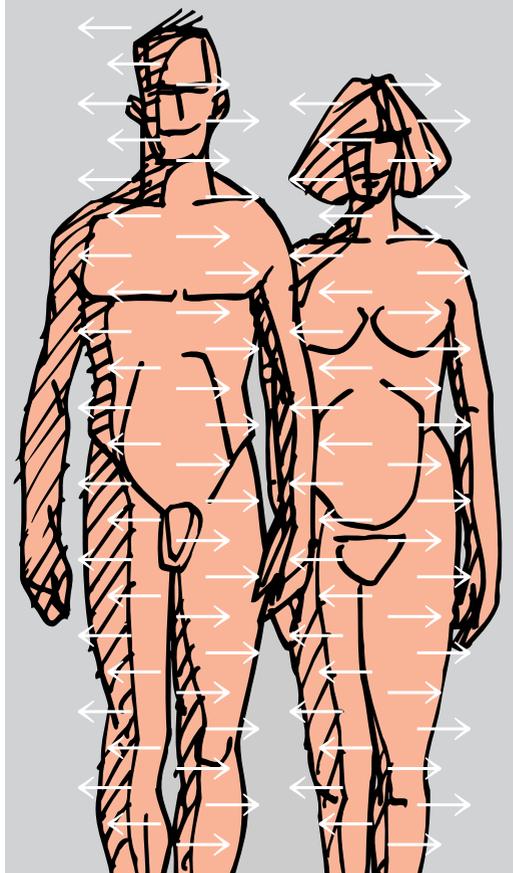
Irradiation externe

Les rayons peuvent agir sur le corps de l'extérieur ou de l'intérieur. C'est pourquoi on parle de doses par irradiation externe ou interne.

L'irradiation externe peut se comparer à l'irradiation par des rayons X : on est irradié sans émettre soi-même de radiation. Par exemple le rayonnement cosmique et les rayons gamma des radionucléides qui se trouvent dans le sol conduisent à une irradiation externe. L'irradiation est alors plus ou moins égale pour tous les organes du corps; ils reçoivent tous des doses à peu près équivalentes.

Le débit de dose de ces sources de radiations naturelles varie en Suisse entre 40 et 200 nSv/h, ce qui correspond à une dose annuelle d'environ 0,4 à 2 mSv.

Le rayonnement terrestre et cosmique provoque une irradiation externe dont la dose annuelle en Suisse varie entre 0,4 et 2 mSv.



Des radionucléides assimilés par le corps provoquent une irradiation interne

une irradiation des organes respiratoires. Le césium de Tchernobyl a provoqué une irradiation interne de tout le corps. L'iode radioactif cause essentiellement une irradiation de la glande thyroïde.

Les produits de désintégration du radon absorbés par les voies respiratoires conduisent avant tout à une dose pulmonaire

Pour calculer la dose due à une irradiation interne, on doit connaître l'activité des radionucléides absorbés. L'activité en becquerel et la dose en millisievert (mSv) décrivent donc deux choses différentes. La dose effective peut être calculée pour tout radionucléide à partir de l'activité incorporée (en Bq). Les facteurs de conversion nécessaires pour ce calcul sont disponibles sous forme de tableaux. Ils tiennent compte des propriétés physiques des rayonnements, du comportement métabolique des substances absorbées et d'autres paramètres.

A partir de l'activité des radionucléides absorbés avec la nourriture, on peut calculer la dose effective produite par irradiation interne.

Exemple:

- 1000 Bq d'un radionucléide absorbé avec la nourriture produisent chez l'adulte les doses indiquées dans le tableau ci-dessous. Les exemples montrent que les doses varient considérablement selon le radionucléide.

Irradiation interne

Il y a irradiation interne lorsque des substances radioactives sont inhalées ou absorbées avec la nourriture. L'organisme peut assimiler ces substances. Elles restent dans le corps jusqu'à ce qu'elles se désintègrent, et par là irradient les cellules, ou sont éliminées par le métabolisme avant leur désintégration. Ainsi le césium est éliminé de l'organisme avec une période biologique d'environ trois mois. Certains organes peuvent être particulièrement touchés lors d'une irradiation interne : l'inhalation de radon et surtout de ses produits de désintégration radioactifs conduit à

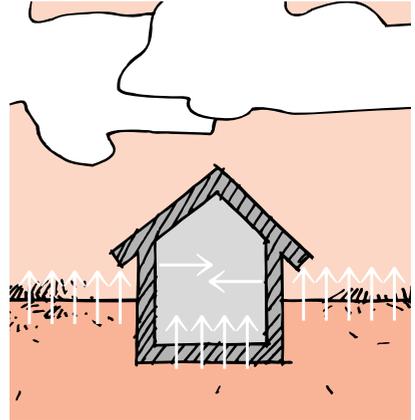
Radionucléide	Dose effective (pour une activité absorbée de 1'000 Bq du nucléide en question)	
Tritium	0.00002	mSv
Carbone-14	0.0006	mSv
Césium-137	0.01	mSv
Césium-134	0.02	mSv
Strontium-90	0.03	mSv
Plutonium-239	0.3	mSv

Doses annuelles de la population en Suisse

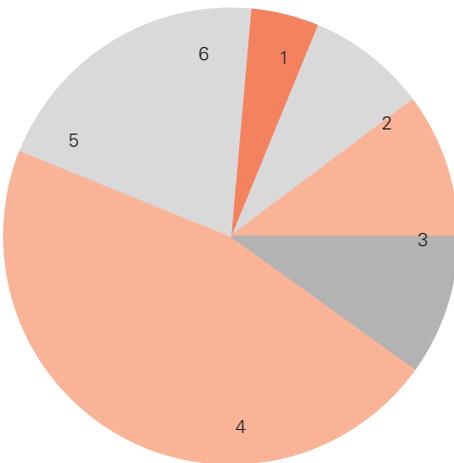
L'homme est depuis toujours exposé à l'irradiation naturelle. Au total, la dose annuelle moyenne pour la population suisse est d'environ 4,2 mSv.

Le radon et ses produits de désintégration représentent presque la moitié de la dose annuelle. Les produits de la désintégration du radon déposés dans les bronches et le tissu pulmonaire provoquent essentiellement une dose pulmonaire. Cette dose est convertie en dose effective afin de pouvoir la comparer à d'autres doses du point de vue du danger qu'elle représente.

Plus d'un quart de la dose en Suisse provient du radiodiagnostic médical.



Répartition de la dose annuelle moyenne en Suisse



1	rayonnement cosmique	0,35 mSv
2	rayonnement terrestre	0,45 mSv
3	irradiation interne	0,4 mSv
4	radon dans les habitations	1,6 mSv
5	applications médicales	1,2 mSv
6	autres	0,2 mSv
(retombées de bombes atomiques, Tchernobyl, installations nucléaires, industries et hôpitaux, petites sources)		
Total		4,2 mSv

Le potassium-40 par exemple est le principal responsable de la dose interne annuelle de 0,4 mSv. La dose moyenne de 0,2 mSv enregistrée la première année consécutive à Tchernobyl a été causée avant tout par l'iode-131, le césium-134 et le césium-137.

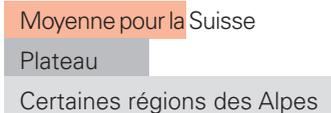
La dose annuelle moyenne en Suisse est d'environ 4,2 mSv dont la moitié environ est imputable aux descendants radioactifs du radon et un quart au diagnostic médical.

Plage de dispersion des valeurs de doses

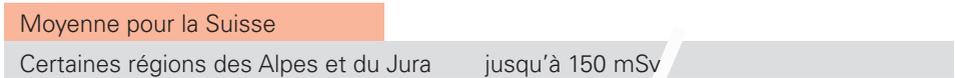
Les doses dues au radon et aux applications médicales présentent une grande dispersion.

Doses annuelles moyennes en Suisse et exemples de leurs plages de dispersion

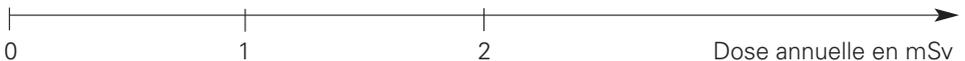
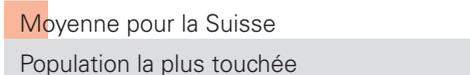
Rayonnement cosmique et terrestre (ensemble)



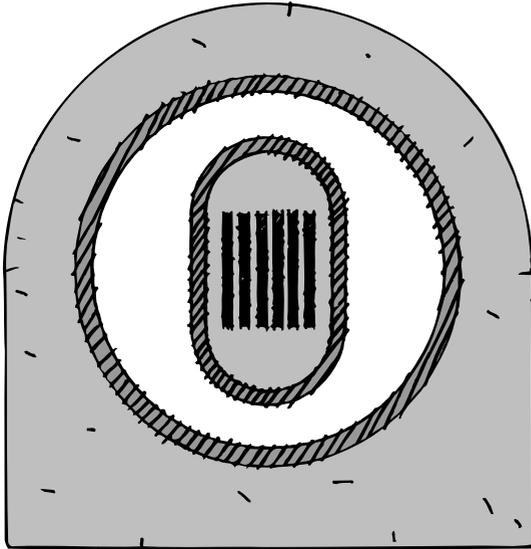
Radon



Tschemnobl la 1ère année



La radioactivité émise par les centrales nucléaires



Comme les usines électriques à mazout ou à charbon, les centrales nucléaires transforment de la chaleur en énergie électrique. La chaleur provient de la fission de l'uranium contenu dans les éléments combustibles. En même temps, il se produit aussi des radionucléides, par exemple des gaz rares radioactifs, de l'iode, du césium, du plutonium etc.

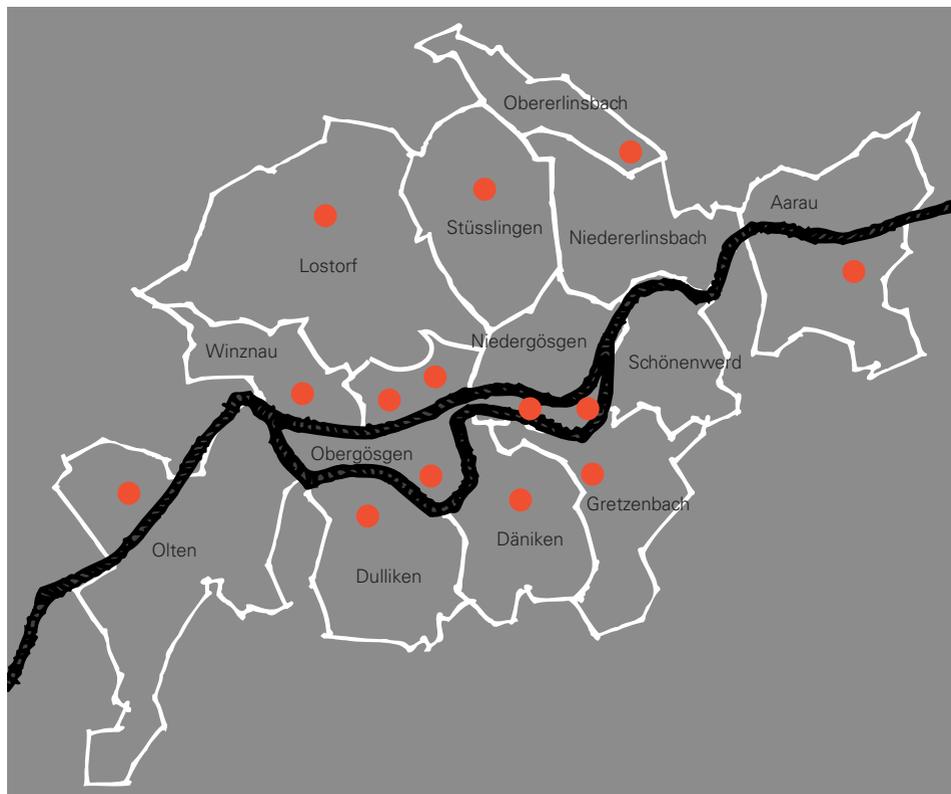
Ainsi par exemple, l'activité de l'iode-131 dans les éléments combustibles d'une centrale en exploitation d'une puissance électrique de 1'000 mégawatts représente env. 10^{18} Bq = 1'000'000'000'000'000'000 Bq. Afin de garantir que des activités si considérables restent confinées, les centrales nucléaires sont dotées d'une série de dispositifs de sécurité échelonnés les uns derrière les autres:

- les éléments combustibles eux-mêmes et leur gainage renferment la majeure partie des produits de fission;
- le cœur du réacteur avec les éléments combustibles est emprisonné dans la cuve du réacteur;
- la cuve et les conduites du fluide de refroidissement sont entourées d'une enveloppe de sécurité en acier;
- tout à l'extérieur se trouve l'enceinte de sécurité en béton qui doit notamment protéger les installations contre les influences de l'extérieur.

La fission de l'uranium s'accompagne de la production de radionucléides. Les dispositifs de sécurité d'une centrale nucléaire les maintiennent confinés.

L'émission de radioactivité tolérée d'une centrale nucléaire en fonctionnement normal est stipulée dans l'autorisation d'exploitation et surveillée en permanence. On prélève en outre régulièrement dans les environs des échantillons d'air, de sol, d'eau de rivière et de la nappe phréatique, d'herbe, de lait etc. Les émissions radioactives et les résultats de la surveillance de l'environnement sont publiés dans les rapports de l'Office fédéral de la santé publique. Il ressort des mesures effectuées jusqu'à présent que les émissions annuelles ont toujours été inférieures aux limites fixées. Aucune personne vivant à proximité d'une centrale nucléaire n'a été exposée à cause des émissions radioactives à une dose annuelle supérieure à la valeur de 0,2 mSv fixée par les autorités. L'instance de surveillance contrôle en outre en

Jusqu'à présent, les émissions annuelles des centrales nucléaires ont toujours été inférieures aux limites fixées.



continu le débit de dose aux alentours immédiats des centrales nucléaires à l'aide d'un réseau supplémentaire de mesure (MADUK).

Les sondes MADUK, placées à environ 15 endroits autour des centrales nucléaires, jusqu'à une distance de 5 km, mesurent en continu le débit de dose ambiante. Les résultats de mesure sont transmis toutes les 10 minutes à la DSN et analysés automatiquement.

Utilisation de sources de rayonnements en médecine

L'utilisation des rayons X et de substances radioactives fait partie de la routine quotidienne dans les cabinets médicaux et les cliniques. Ce sont des auxiliaires précieux pour le diagnostic et le traitement de lésions et de maladies, par exemple pour le diagnostic de fractures ou pour le traitement de tumeurs par radiothérapie. Pour éviter les doses d'irradiation superflues, le médecin ne devrait se résoudre à faire des radiographies qu'en cas de nécessité. Il existe à ce sujet des ordonnances pour la protection du patient et du personnel. La formation des médecins doit garantir que les examens sont effectués avec des doses minimales. Un diagnostic radiologique n'affecte généralement que certaines parties du corps. L'organe examiné reçoit une dose plus élevée que les tissus situés en dehors du faisceau primaire. Selon l'examen radiographique effectué, les doses effectives varient entre 0,01 et 20 millisievert. Les doses élevées sont principalement imputables à la pratique de la tomodensitométrie et de la radiologie interventionnelle."

Les rayons X et les substances radioactives sont utilisés pour le diagnostic et le traitement de maladies.

La dose annuelle varie grandement d'une personne à l'autre selon que des examens sont effectués ou non et si oui, lesquels. L'indication d'une dose moyenne pour la population sert à établir des comparaisons avec d'autres doses, p. ex. celles dues au radon, aux rayonnements cosmiques et terrestres.

Irradiation	Exemples d'examens	Dose effective
très faible	dent, main, coude, pied, genou	environ 0,01 mSv (0,003 à 0,03)
faible	crâne, poumons, hanche	environ 0,1 mSv (0,03 - 0,3)
moyenne	bassin, abdomen, colonne vertébrale, seins, tomodensitométrie de la tête et du cou	environ 1 mSv (0,3 à 3)
élevée	tomodensitométrie de la colonne vertébrale, de l'abdomen ou du bassin; angiographie; examen, avec produit de contraste, des reins, des voies urinaires et du tractus digestif	environ 10 mSv (3 – 30)

Les applications dans la technique et la recherche

Les sources radioactives trouvent des applications multiples dans la technique et la recherche. Les exemples les plus connus sont l'essai de matériaux et les peintures luminescentes utilisées par exemple dans les montres. Aujourd'hui, celles-ci contiennent généralement du tritium. Les rayons bêta émis lors de sa désintégration font briller une substance fluorescente.

Dans les détecteurs d'incendie, l'incorporation d'américium-241 permet de détecter la fumée. Pour les essais de matériaux, par exemple de câbles de téléphériques, ou de soudures, on utilise souvent les rayons gamma du cobalt-60. Dans la recherche, l'étude de processus biologiques, par exemple du métabolisme, fait fréquemment appel à des composés chimiques comprenant un radionucléide incorporé, par exemple du tritium ou du carbone-14.

Dans bien des cas, les rayons ionisants sont irremplaçables. Les autorisations d'utilisation d'objets contenant de la radioactivité sont délivrées quand les applications techniques ne produisent que des doses négligeables en utilisation normale. Selon les estimations, la dose due aux applications techniques représente en moyenne moins de 0,1 mSv par an pour la population suisse.

Les sources radioactives trouvent des applications multiples dans la technique et la recherche : les montres par exemple contiennent souvent du tritium et les détecteurs d'incendie de l'américium-241.

Les déchets radioactifs

Lors de la fission de l'uranium dans les centrales nucléaires, mais aussi lors de l'application de substances radioactives en médecine, dans l'industrie et la recherche, des déchets radioactifs sont produits. Ils peuvent contenir toutes sortes de radionucléides et présenter les formes chimiques les plus diverses.

Les centrales nucléaires produisent d'une part un certain nombre de déchets radioactifs. En Suisse, ces déchets sont généralement mis sous une forme permettant leur entreposage définitif ultérieur (p. ex. en fûts, coulés dans du ciment). D'autre part, il s'agit d'évacuer les éléments combustibles usés. Ils sont retraités à l'étranger. On en sépare d'abord les combustibles récupérables. Les déchets hautement radioactifs qui restent sont aujourd'hui généralement vitrifiés pour l'entreposage définitif. Les déchets provenant de la médecine, de l'industrie et de la recherche sont récupérés par l'Institut Paul Scherrer qui les traite et les entrepose. Les déchets inflammables de faible activité sont incinérés pour en réduire le volume.

Lors de la désintégration des radionucléides, il se produit de la chaleur. Les déchets sont dits hautement actifs quand leur activité, et partant leur chaleur de désintégration, requiert un refroidissement. Pour les déchets moyennement actifs, il faut prévoir un écran contre les rayons lors du traitement, mais il n'est pas nécessaire de les refroidir. Les déchets faiblement actifs ne

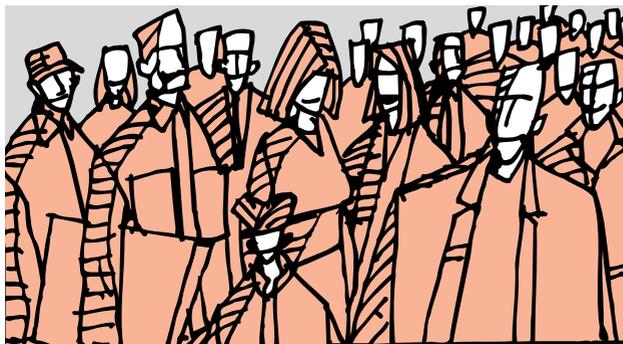
nécessitent ni refroidissement, ni écrans protecteurs spéciaux.

L'activité des radionucléides de vie courte diminue rapidement dans les déchets. C'est pourquoi le rayonnement des déchets des centrales nucléaires décroît fortement dans un premier temps. Les déchets hautement actifs passent quelques années ou quelques dizaines d'années dans un entrepôt intermédiaire. Pendant ce temps, une grande partie des radionucléides se désintègre, de sorte que l'activité et la production thermique seront plus faibles dans l'entrepôt définitif.

La Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs (Cédra) est chargée de trouver en Suisse des sites appropriés pour l'entreposage souterrain des diverses sortes de déchets.

La radioprotection

L'ordonnance suisse sur la radioprotection stipule que pour les personnes exposées aux radiations pour des raisons professionnelles, la dose artificielle annuelle ne doit pas dépasser 20 mSv (sans les applications médicales). Pour les individus de la population, cette valeur limite est aujourd'hui de 1 mSv par année.



Limite de dose recommandée pour la population: 1 mSv par an

Cependant, deux principes fondamentaux sont applicables en radioprotection:

- toute dose artificielle doit être justifiée par le bénéfice que l'on en tire;
- les doses d'origine artificielle doivent être maintenues au niveau le plus bas que l'on peut raisonnablement atteindre.

Surveillance de la radioactivité

En Suisse, l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) est responsable de l'octroi d'autorisations pour l'utilisation des rayonnements ionisants et de l'application des règles de radioprotection. La Division principale pour la sécurité des installations nucléaires surveille la radioprotection dans ces installations et contrôle si les limites d'émission de substances radioactives y sont respectées. La Caisse nationale d'assurance (Suva) est l'organe de surveillance pour les exploitations industrielles. L'OFSP surveille la radioactivité dans notre environnement.

La protection en situation d'urgence

Dangers en cas d'accident dans une centrale nucléaire

Si lors d'une panne plusieurs dispositifs de sécurité venaient à défaillir simultanément, la population pourrait être menacée par l'émission de gaz rares et d'autres formes de produits radioactifs, généralement liés à des aérosols (particules de poussière). Un nuage radioactif invisible se formerait et se propagerait à la vitesse et dans la direction du vent. Les particules de poussière radioactive retomberaient au sol avec les précipitations.

Les dangers suivants pourraient se présenter:

Irradiation externe

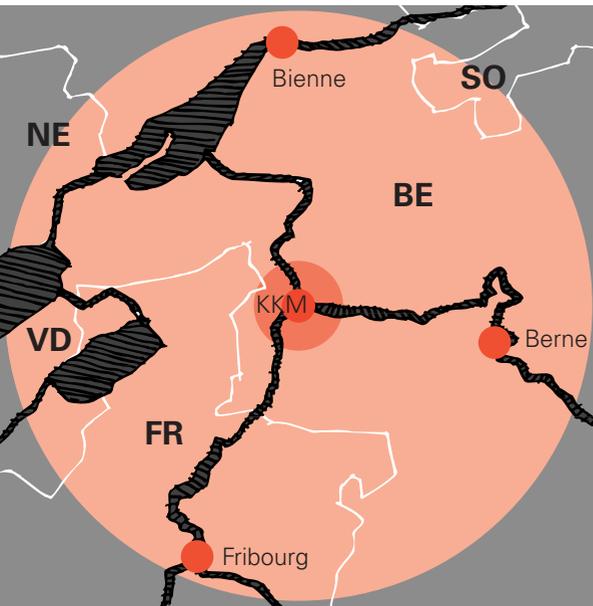
- par le nuage radioactif qui se déplace;
- par les retombées radioactives au sol;

Irradiation interne

- par l'air contaminé que l'on respire;
- par l'absorption de denrées alimentaires contaminées.

Les accidents graves sont très improbables, mais ne peuvent être exclus. C'est pourquoi un système d'alarme particulier a été mis en place en Suisse aux alentours des centrales nucléaires (zone 1 : jusqu'à 3 à 5 km; zone 2 : jusqu'à 20 km). Des mesures visant à protéger la population ont aussi été préparées.

Les principes à appliquer pour la protection de la population en cas d'augmentation de la radioactivité et les informations associées visant la protection contre les radiations sont données plus loin.



Mesures en cas d'augmentation de la radioactivité

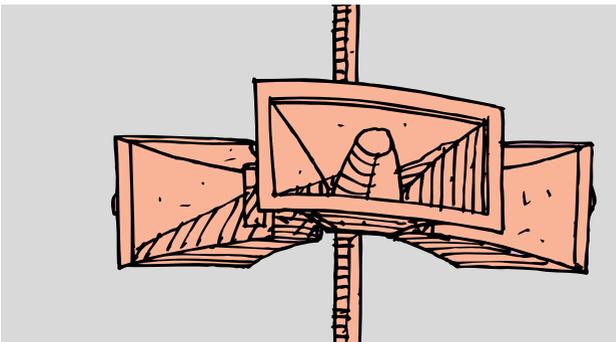
La Commission fédérale de protection AC (ComAC), qui travaille en collaboration étroite avec les autorités cantonales et fédérales, veille à la préparation de mesures susceptibles de protéger la population en cas d'augmentation de la radioactivité.

Pour ces événements, la Confédération a créé une organisation d'intervention. Ses tâches sont les suivantes:

- elle suit l'ampleur et l'évolution de la radioactivité dans tout le pays et évalue les répercussions possibles sur la population;
- elle propose aux autorités politiques des mesures de protection de la population;
- en cas de danger immédiat, elle ordonne par radio les mesures d'urgence nécessaires (p. ex. fermer portes et fenêtres, rester à l'intérieur des maisons, absorber des comprimés d'iode);
- la Chancellerie fédérale informe la population.

Pour remplir sa mission, l'organisation d'intervention dispose, avec la Centrale nationale d'alarme, de réseaux de mesures automatiques et de laboratoires. Les mesures de protection sont prises en collaboration étroite avec les cantons.

Les sirènes enjoignent la population à écouter la radio.



L'échelle internationale d'évaluation des accidents de centrales nucléaires (INES: International Nuclear Event Scale)

Degré	Désignation	Genre d'événement
0	Événement sans incidence sur la sécurité	Événement ne conduisant à aucun dépassement des limites fixées pour l'exploitation. Aucune signification vis-à-vis de la sécurité.
1	Incident de fonctionnement	Événement ne conduisant à aucun dépassement des limites fixées pour l'exploitation. Aucune signification vis-à-vis de la sécurité.
2	Dérangement	Événement impliquant une défaillance d'un dispositif de sécurité, mais avec une marge de sécurité encore suffisante.
3	Dérangement sérieux	<ul style="list-style-type: none"> – Dérangement pour lequel une défaillance supplémentaire des dispositifs de sécurité pourrait conduire à un accident. – Relâchement de produits radioactifs en quantité supérieure aux valeurs limites autorisées. – Contamination grave de l'installation.
4	Accident	<ul style="list-style-type: none"> – Accident au cours duquel des substances radioactives sont relâchées conduisant, pour la personne la plus exposée hors de l'installation, à une dose comparable à la dose annuelle tolérée. – Endommagement partiel du coeur du réacteur.
5	Accident sérieux	Relâchement de substances radioactives. Avarie grave du coeur.
6	Accident grave	Relâchement de quantités importantes de substances radioactives dans l'environnement.
7	Accident catastrophique	Relâchement dans l'environnement d'une grande partie de l'inventaire du coeur

Afin de faciliter la communication et la compréhension réciproque entre les spécialistes, les médias et le public en cas d'accident dans une centrale nucléaire, et afin de pouvoir informer la population sur la signification de l'accident en ce qui concerne les aspects de sécurité, une échelle internationale d'évaluation des accidents dans les installations nucléaires a été établie (INES: International Nuclear Event Scale).

Effets sur la population	Exemples
Aucun effet sur la population. Information des médias en cas d'intérêt du public.	Événements arrivant dix à quinze fois par an dans les centrales nucléaires suisses.
Aucun effet sur la population. Information des médias en cas d'intérêt du public.	Événement arrivant une ou deux fois par an dans les centrales nucléaires suisses
Information immédiate de la population. Aucune mesure à prendre.	
Information immédiate de la population. Ev. mesures à prendre en zone 1.	
Mesures de protection d'urgence pour la population dans les zones 1 et 2. Alarme par les sirènes.	
Mesures de protection d'urgence pour la population. Alarme par les sirènes.	Three Mile Island (USA), 1979
Mesures de protection d'urgence pour la population. Alarme par les sirènes.	
Mesures de protection d'urgence pour la population. Alarme par les sirènes. Affections aiguës possibles, dommages tardifs dans de grands secteurs, au-delà de la frontière. Préjudices à long terme pour l'environnement.	Tschernobyl (UdSSR), 1986

Principes pour la protection de la population en cas d'augmentation de la radioactivité

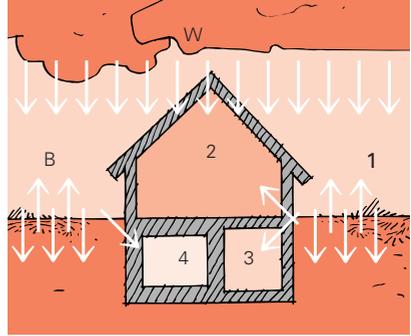
Protection contre l'irradiation externe

Distance:	Plus on s'éloigne d'une source de rayons, plus l'irradiation est faible.
Écran protecteur:	Quelques millimètres de matière suffisent pour arrêter presque complètement les rayons alpha et bêta. Les parois et la terre qui entourent un abri ou une cave absorbent même une grande partie des rayons gamma. Dans l'abri, la dose est jusqu'à 100 fois inférieure à celle que l'on recevrait à l'extérieur. A l'intérieur de la maison, l'irradiation est environ 5 à 10 fois plus faible qu'en plein air. Ces facteurs de protection sont essentiels pour éviter des dommages aigus des radiations.
Durée de séjour:	Moins on s'attarde dans un endroit où l'irradiation est importante, plus la dose et le danger sont réduits. C'est pourquoi on ne quittera que brièvement la cave ou l'abri pour s'acquitter de besognes urgentes dans la maison.
Attendre:	Les radionucléides se désintègrent spontanément. Si en cas de forte contamination on reste dans l'abri pendant quelques jours, l'activité des radionucléides de vie courte se réduira considérablement à l'extérieur; il sera donc beaucoup moins dangereux de quitter l'abri.

Protection contre l'irradiation interne

Air:	Le fait de rester à l'intérieur de la maison diminue la dose, surtout si l'on garde les portes et les fenêtres fermées et que l'on arrête la ventilation.
Denrées alimentaires:	On se protège contre l'irradiation interne en se nourrissant d'aliments non contaminés. Les provisions de secours, les aliments en stock et l'eau du réseau public ne sont pas contaminés.
Comprimés d'iode:	L'absorption au bon moment de comprimés d'iode diminue la dose à la glande thyroïde. L'iode inactif est emmagasiné dans la glande thyroïde et empêche ainsi l'accumulation d'iode radioactif.

- W nuage radioactif
- B contamination du sol
- 1 à l'extérieur:
sans protection
- 2 intérieur de la maison:
5 à 10 fois moins de
rayonnement
- 3 cave: 30 à 50 fois
moins de
rayonnement
- 4 abri: 50 à 100 fois
moins de
rayonnement



Mesures de protection d'urgence aux alentours des centrales nucléaires (CN)

En cas d'accident dans une CN, la CN alarme immédiatement la Division principale pour la sécurité des installations nucléaires (DSN), en tant qu'autorité de surveillance, et la Centrale Nationale d'Alarme (CENAL). Dans le cas où l'accident peut constituer une menace pour la population, les états-majors des cantons et des communes des zones 1 et 2 sont mis sur pied. La zone 1 comprend un domaine autour de la centrale jusqu'à une distance de 3 à 5 km. La zone 2 est contiguë à la zone 1 et s'étend jusqu'à une distance de 20 km de la centrale.

S'il est nécessaire de prendre des mesures de protection pour la population, l'alarme générale est déclenchée à l'aide des sirènes dans le domaine concerné et des instructions de comportement sont annoncées par la radio. Ces instructions pourraient être:

**"Evacuation préventive d'un domaine limité.
Se protéger en restant à la maison / à la cave / dans l'abri.
Absorption de comprimés d'iode".**

Les comprimés d'iode sont à disposition pour toute la population en Suisse; ils sont déjà en partie distribués au niveau des ménages. L'administration communale vous renseignera volontiers sur le mode de distribution dans votre lieu de domicile.

**En cas de danger, la population est alarmée par les sirènes (alarme générale).
Ensuite, des instructions de comportement sont annoncées par la radio.**

Glossaire

Activité	page 7
Aérosols Fines particules de poussière ou gouttelettes de brouillard en suspension dans l'atmosphère	page 11
Affections héréditaires	pages 13
Atome, noyau de l'atome, couche électronique	page 3
Atténuation des rayons gamma	page 10
Lors de leur passage à travers la matière, les rayons gamma diminuent progressivement d'intensité. La part d'intensité initiale capable de traverser une certaine épaisseur de matière dépend de l'énergie des rayons gamma, ainsi que de l'épaisseur et de la nature de la matière	
Becquerel	page 7
Chaîne de désintégration	page 12
Curie	page 8
Débit de dose	page 17
Désintégration alpha, rayons alpha, particules alpha	page 5
Désintégration bêta, rayons bêta, particules bêta	page 5
En cas de désintégration bêta négative, un noyau d'atome émet une particule bêta de charge négative, un électron; en cas de désintégration bêta positive, la particule bêta est chargée positivement; elle est appelée positron	
Deutérium	page 3
Domages aigus	page 13
Domages tardifs	pages 13
Dose à l'organe	page 13
Dose effective	page 13

Electron	page 3
Particule élémentaire de charge négative, de faible masse (env. 1800 fois plus légère que le proton)	
Élément chimique	page 2
Facteur de pondération des organes	page 16
Facteur de pondération du rayonnement	page 13
Fission de l'uranium	page 24
Ion	page 3
Isotope	page 6
Mégawatt	page 24
-1'000'000 watts (le watt est l'unité de puissance)	
Molécule	page 2
Neutron	page 3
Particule élémentaire non chargée, composante du noyau de l'atome. Sa masse est à peu près égale à celle du proton. Les neutrons libres ne sont pas stables	
Nucléide	page 4
Période biologique	page 20
Le temps qu'il faut à l'homme ou à un animal pour éliminer par voie naturelle la moitié de la quantité d'une substance déterminée absorbée en une fois	
Période physique	page 6
Produit de désintégration	page 5
Produits de fission	page 24
Nucléides produits par la fission de noyaux atomiques lourds (p. ex. l'uranium) ou lors de la désintégration radioactive consécutive	

Proton	page 2
Particule élémentaire de charge positive, composante du noyau de l'atome. Sa masse est environ 1800 fois supérieure à celle de l'électron	
Mesures de protection d'urgence	page 35
Radionucléide	page 6
Rayonnement cosmique	page 19
Rayonnement provenant de l'espace. Il se compose essentiellement de protons et de noyaux d'hélium. Dans l'atmosphère, il produit des particules secondaires, par exemple des neutrons et des rayons gamma	
Rayonnement ionisant	page 9
Rayonnement qui produit directement ou indirectement des ions lors de son passage à travers la matière (directement: rayonnement alpha et bêta, indirectement : rayonnement gamma et neutrons)	
Rayonnement terrestre	page 19
Rayons gamma	page 9
Rayons X	page 9
Rayons électromagnétiques pénétrants. Pour les applications médicales, ils sont produits dans un tube à rayons X par des électrons rapides	
Rem	page 14
Seuil	page 14
Sievert	page 14
Tritium	page 3