

3 > L'homme et les rayonnements



LA DIVERSITÉ DES RAYONNEMENTS

LES EFFETS BIOLOGIQUES
DES RAYONNEMENTS

LA RADIOPROTECTION

EXEMPLES D'APPLICATIONS
DES RAYONNEMENTS



L'homme et les rayonnements

LA DIVERSITÉ

DES RAYONNEMENTS 4

Notre monde, un bain
de rayonnements 5

Les différents
rayonnements ionisants 6

La pénétration des
rayonnements dans la matière 7

L'énergie absorbée
par la matière 7

LES EFFETS BIOLOGIQUES

DES RAYONNEMENTS 8

L'étude des effets
des rayonnements 9

Les effets immédiats 10

Les effets à long terme 10

Les modes d'exposition
aux rayonnements 11

L'exposition de l'homme
aux rayonnements 13

L'exposition naturelle 13

L'exposition artificielle 14

LA RADIOPROTECTION 15

Les règles de radioprotection 16

Les normes internationales
de radioprotection 16

Au niveau national 17



© PhotoDisc

EXEMPLES D'APPLICATIONS

DES RAYONNEMENTS 18

La radiographie
et la radiothérapie
en médecine 19

La stérilisation
par rayonnement gamma 20

La datation en sciences
de la Terre 22

L'utilisation des rayonnements
dans l'industrie 22



© E. Stroppa/CEA



© PhotoDisc



© P. Allard/IREA-CEA

Des rayonnements aux multiples facettes : pour le traitement d'objets d'art, la radiographie et dans un réacteur nucléaire.

“ L’homme est exposé à toutes formes de rayonnements naturels provenant du sol, de l’espace, du Soleil, et même dans son propre corps. Ce phénomène a été découvert à la fin du XIX^e siècle.”

Introduction

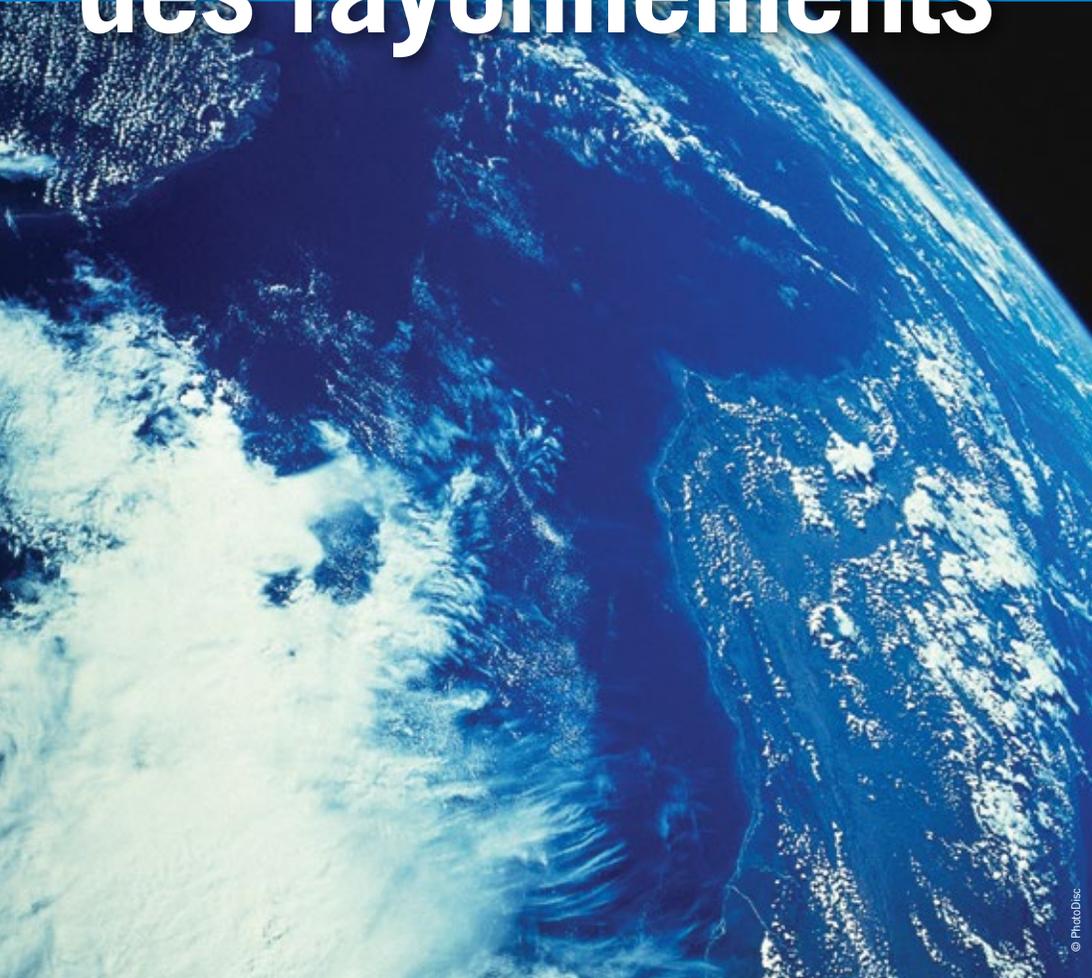
C'est en 1895 que l’homme a pris conscience qu’il était entouré de rayonnements invisibles, quand Wilhelm Roentgen met en évidence qu’une plaque photographique peut être impressionnée par ce rayonnement pouvant traverser la matière. Il l’appelle X (symbole de l’ “inconnue” en mathématiques).

Les médecins comprennent immédiatement son intérêt et l’utilisent pour leurs recherches médicales : c’est le début de la radiologie.

Cependant, des praticiens et des radiologues utilisant fréquemment ces rayonnements pour leurs patients tombent malades. Ils se rendent alors compte qu’à fortes doses, une irradiation est dangereuse et qu’il faut donc s’en protéger. Dès les années 1920 se créent des commissions internationales pour définir des réglementations sur l’utilisation des rayonnements. C’est la naissance de la radioprotection pour l’homme et l’environnement.

SOLEIL, ESPACE, ÉLÉMENTS RADIOACTIFS...
LES SOURCES DE RAYONNEMENT SONT MULTIPLES.

La diversité des rayonnements



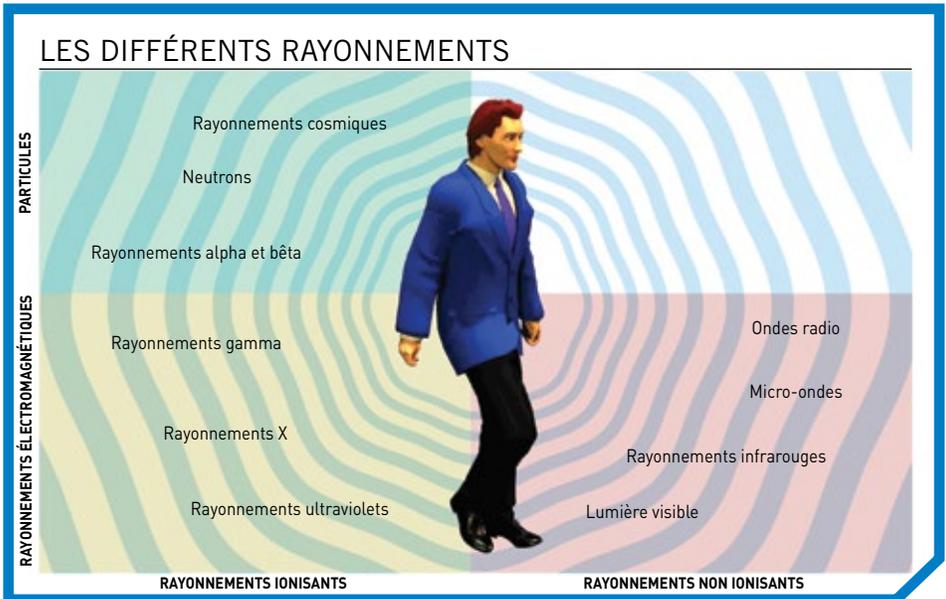
NOTRE MONDE, UN BAIN DE RAYONNEMENTS

L'homme est exposé aux rayonnements depuis son apparition sur Terre. Il est, par exemple, exposé aux rayonnements solaires, c'est-à-dire à la lumière visible provenant du Soleil, laquelle s'accompagne de rayonnements invisibles. Ce sont des ondes électromagnétiques : les rayons gamma, les rayons X, les ultraviolets, les infrarouges, les micro-ondes et les ondes radio. L'atmosphère agit comme un filtre et certains n'atteignent pas la surface terrestre.

L'homme est également exposé à d'autres rayonnements invisibles qui proviennent de l'espace et du Soleil, connus sous le nom de rayonnements cosmiques. Ces rayonnements de très grande énergie (ondes et particules) sont capables de traverser d'épaisses couches de roches.

Dans la nature, la plupart des noyaux d'atome sont stables, d'autres non.

Ces derniers se transforment alors spontanément, et de façon irréversible, en d'autres atomes plus stables. Ces transformations suc-



“Le pouvoir pénétrant des rayonnements ionisants est variable selon leur nature.”

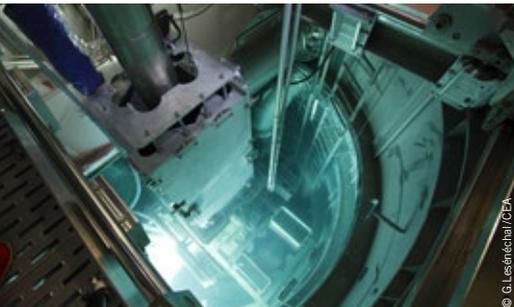
cessives, appelées désintégrations, s'accompagnent d'émissions de différents types de rayonnements : alpha, bêta et gamma (voir livret *La radioactivité*). Les rayonnements gamma sont des ondes électromagnétiques tandis que les rayonnements alpha et bêta sont des particules, respectivement un noyau d'hélium et un électron.

L'activité d'un élément radioactif, c'est-à-dire le nombre de désintégrations par seconde dans une certaine masse de cet élément, est mesurée en becquerels. Parmi les rayonnements particulaires existent aussi les neutrons.

LES DIFFÉRENTS RAYONNEMENTS IONISANTS

Les rayonnements les plus énergétiques transfèrent assez d'énergie aux électrons de la matière

Au cœur de cette piscine de réacteur, la décroissance des noyaux radioactifs libère des électrons à une vitesse supérieure à celle de la lumière de l'eau, produisant l'effet Tcherenkov.



© G. Lesnéchal / CEA

pour les arracher de leur atome. Ceux-ci ainsi privés de certains de leurs électrons sont alors chargés positivement. Les atomes voisins qui accueillent les électrons se chargent négativement. Les atomes chargés positivement ou négativement sont appelés ions. Les rayonnements capables de provoquer de telles réactions sont dits ionisants (voir schéma page 5).

Les rayonnements ionisants regroupent :

- **les rayonnements cosmiques,**
- **les ondes électromagnétiques les plus énergétiques, soit les rayonnements X et gamma.**

Les rayons X peuvent être produits par un faisceau d'électrons envoyé sur une cible métallique. Ces électrons interagissent avec les électrons des atomes du métal, en émettant des rayons X.

Lors de leur désintégration, les atomes radioactifs émettent des rayons gamma.

- **les rayonnements alpha, bêta plus et bêta moins** (particules émises par des atomes radioactifs lors de leur désintégration),

- **les neutrons libres** qui sont surtout présents dans les réacteurs nucléaires ; ils sont émis, par exemple, lors de la fission d'atomes d'uranium 235 (voir livret *Le fonctionnement d'un réacteur nucléaire*). Ils sont indirectement ionisants car c'est leur capture par les noyaux ou leur interaction avec ceux-ci qui génère des rayonnements gamma et/ou diverses particules. Les neutrons sont aussi présents aux altitudes de

Rayonnements alpha

Particules bêta moins : électrons

Rayonnements X et gamma

Neutrons

POUVOIR DE PÉNÉTRATION DES RAYONNEMENTS IONISANTS

- **Particules alpha.** Pénétration très faible dans l'air. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter les noyaux d'hélium.
- **Particules bêta moins :** électrons. Pénétration faible. Parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut les arrêter.
- **Rayonnements X et gamma.** Pénétration très grande, fonction de l'énergie du rayonnement : plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de béton ou de plomb permet de s'en protéger.
- **Neutrons.** Pénétration dépendante de leur énergie. Une forte épaisseur de béton, d'eau ou de paraffine les arrête.

vol des avions longs courriers et subsoniques : ils participent à 30 % de la dose reçue par le personnel navigant.

Les autres rayonnements sont appelés **rayonnements non ionisants** et comprennent les ondes électromagnétiques les moins énergétiques.

LA PÉNÉTRATION DES RAYONNEMENTS DANS LA MATIÈRE

Par leur énergie, les rayonnements ionisants sont pénétrants, c'est-à-dire qu'ils peuvent traverser la matière. Cependant, le pouvoir de pénétration est différent pour chacun d'entre eux, ce qui définit des épaisseurs différentes de matériaux pour se protéger. Mentionnons que les positons (rayonnements

bêta plus) sont pratiquement absorbés sur place : un positon s'annihile avec le premier électron rencontré sur son passage en formant deux photons gamma, ce qui ramène le problème au cas du rayonnement gamma (voir schéma ci-dessus).

L'ÉNERGIE ABSORBÉE PAR LA MATIÈRE

Lorsqu'un rayonnement pénètre la matière, il interagit avec elle et lui transfère de l'énergie. La dose absorbée par la matière caractérise ce transfert d'énergie.

L'unité de dose absorbée par la matière est le gray (Gy) qui est équivalent à un **joule** absorbé par kilogramme

Unité mesurant l'énergie

A FORTE DOSE, LES RAYONNEMENTS IONISANTS
SONT DANGEREUX POUR LA SANTÉ.

Les effets biologiques des rayonnements

Etude sur la gamétogénèse
normale et sur les perturbations
induites par l'environnement.

L'ÉTUDE DES EFFETS DES RAYONNEMENTS

Les effets des rayonnements ultraviolets du Soleil sont bien connus du grand public. Si, à faibles doses, ils paraissent assez inoffensifs, à forte dose, certains peuvent présenter des dangers. Par exemple, des expositions prolongées au Soleil provoquent des coups de soleil, des brûlures dues à la présence des rayonnements ultraviolets.

À long terme, elles peuvent même être la cause de cancers. Les rayonnements ionisants contribuent à une ionisation des molécules présentes dans les organismes vivants. Selon la dose reçue et le type de rayonnements, leurs effets peuvent être plus ou moins néfastes pour la santé.

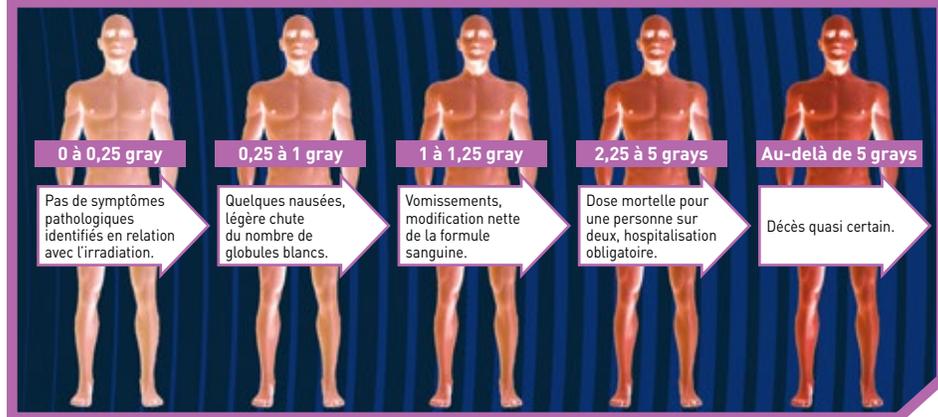
Deux approches sont utilisées pour étudier leurs différents effets biologiques : **l'épidémiologie et l'expérimentation** sur des molécules ou cellules d'organismes vivants. L'épidémiologie consiste à observer les effets sur des populations qui ont subi des irradiations d'origine naturelle ou artificielle (populations d'Hiroshima et Nagasaki, premiers radiologues, travailleurs dans les mines d'uranium...).

Par ailleurs, grâce à l'expérimentation, les chercheurs observent les dégâts et les perturbations engendrés par les rayonnements ionisants sur l'**ADN**. Ils analysent aussi les mécanismes de

Très longue molécule présente dans les cellules vivantes, support de l'information génétique.

réparation qu'une cellule est capable de mettre en jeu

EFFETS LIÉS À UNE IRRADIATION HOMOGENÈME



“ Les effets sont variables selon les individus, les doses et les sources d'exposition (interne ou externe). ”

lorsque son ADN a été détérioré. L'épidémiologie et l'expérimentation permettent de mieux connaître les effets des rayonnements ionisants afin de définir des règles et des normes de radioprotection et de soigner les personnes ayant subi des irradiations accidentelles.

LES EFFETS IMMÉDIATS

Une forte irradiation par des rayonnements ionisants provoque des effets immédiats sur les organismes vivants comme, par exemple, des brûlures plus ou moins importantes. La dose absorbée (en grays) est utilisée pour caractériser ces effets immédiats, consécutifs à de fortes irradiations (accidentelles ou thérapeutiques pour soigner un cancer). Par exemple, les radiothérapeutes utilisent la dose absorbée pour quantifier l'énergie délivrée dans les tumeurs qu'ils traitent par irradiation. Le schéma de la page précédente donne les effets d'une irradiation homogène sur le corps. Pourtant lors d'une radiothérapie, les médecins peuvent délivrer localement des doses allant jusqu'à 40 grays sur la tumeur à traiter.

LES EFFETS À LONG TERME

Les expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants peuvent avoir des effets à long terme sous la forme de cancers et de leucémies. Ces effets se manifestent de façon

aléatoire.

Que l'on ne peut pas prédire pour une personne donnée.

Les rayonnements alpha, qui sont de grosses particules (noyaux d'hélium), sont rapidement freinés lorsqu'ils pénètrent à l'intérieur d'un matériau ou d'un tissu vivant et déposent leur énergie localement. Ils sont donc, à dose absorbée égale, plus perturbateurs que des rayonnements gamma ou X, lesquels pénètrent plus profondément la matière et étalent ainsi leur dépôt d'énergie.

MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ

Le becquerel

Un échantillon radioactif se caractérise par son activité qui est le nombre de désintégrations de noyaux radioactifs par seconde se produisant en son sein. L'unité d'activité est le becquerel, de symbole Bq.

1 Bq = 1 désintégration par seconde.

Le gray

L'unité qui permet de mesurer la quantité de rayonnements absorbés – ou dose absorbée – par un organisme ou un objet exposé aux rayonnements est le gray (Gy).

1 gray = 1 joule par kilo de matière irradiée.

Le sievert

Unité de la dose équivalente et de la dose efficace, le symbole est Sv. Le sievert permet d'évaluer le risque d'effets biologiques au niveau d'un organe (dose équivalente) ou de l'organisme entier en fonction de la radiosensibilité de chaque tissu (dose efficace).

L'unité la plus couramment utilisée est le millisievert, ou millième de sievert (voir livret *La radioactivité*).

Pour rendre compte de la nocivité plus ou moins grande des rayonnements à dose absorbée égale, il a fallu introduire pour chacun d'eux un "facteur de qualité". En multipliant la dose absorbée (en grays) par ce facteur, on obtient une mesure de l'effet biologique d'un rayonnement reçu que l'on appelle la **dose équivalente**. L'unité de dose équivalente, utilisée pour mesurer l'effet des rayonnements sur les tissus vivants, est le sievert (Sv).

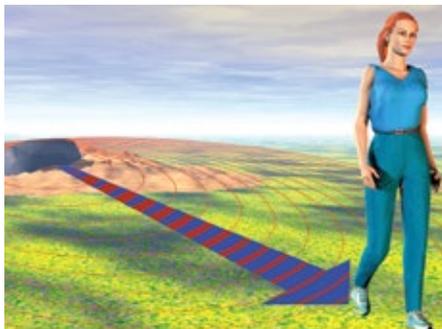
Cependant, le risque biologique n'est pas uniforme pour l'ensemble de l'organisme. Il dépend de la radiosensibilité de l'organe irradié et les spécialistes définissent une nouvelle dose, **la dose efficace** (aussi exprimée en sieverts) qui tient compte de ces différences de sensibilité des organes et définit le risque d'apparition à long terme d'un cancer dans l'organisme entier.

LES MODES D'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS

Selon la manière dont les rayonnements atteignent l'organisme, on distingue deux modes d'exposition : externe ou interne.

• **L'exposition externe de l'homme aux rayonnements provoque une irradiation externe.**

Elle a lieu lorsque celui-ci se trouve exposé à des sources de rayonnements qui lui sont extérieures (substances radioactives sous forme de nuage ou de dépôt sur le sol, sources à usage industriel ou médical...). L'exposition externe peut concerner tout l'organisme ou une partie seulement de celui-ci. Elle cesse dès que l'on n'est plus sur la trajectoire des rayonnements



Les rayonnements peuvent affecter le corps humain par irradiation externe ou interne.

(cas par exemple d'une radiographie du thorax).

• **L'exposition interne est possible lorsque des substances radioactives ont pu pénétrer à l'intérieur de l'organisme par inhalation, ingestion, blessure de la peau et se distribuent dans l'organisme.**

Celles-ci provoquent une irradiation interne et on parle alors de contamination interne. Cette dernière ne cesse que lorsque les substances radioactives ont disparu de l'organisme, après un temps plus ou moins long par élimination naturelle et décroissance radioactive (voir livret *La radioactivité*) ou grâce à un traitement.

LES SOURCES D'EXPOSITION ET LEUR EFFET

Selon le type de rayonnement, l'effet produit sur la matière vivante est différent.

Cette dose s'exprime en sievert (Sv), on parle de dose équivalente.
 0,1 Sv = 100 mSv

RADIOACTIVITÉ NATURELLE



● Sud-Ouest de l'Inde, Brésil



● À 4500 m d'altitude



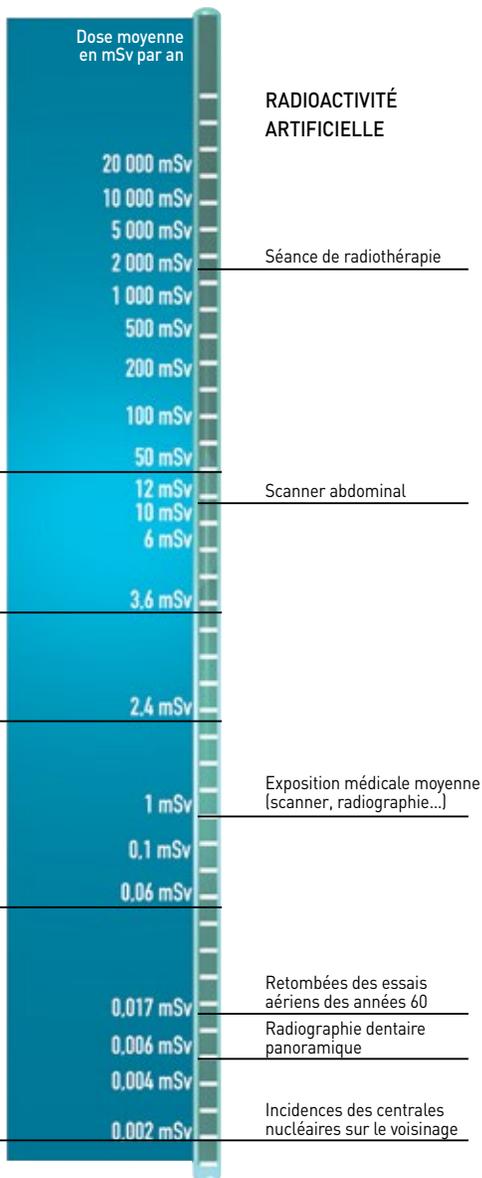
● En France (radioactivité naturelle moyenne)



● Vol Paris / New York (aller-retour)



● Incidences des centrales nucléaires sur le voisinage



RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE

Séance de radiothérapie

Scanner abdominal

Exposition médicale moyenne (scanner, radiographie...)

Retombées des essais aériens des années 60

Radiographie dentaire panoramique

Incidences des centrales nucléaires sur le voisinage

“Qu’ils soient d’origine naturelle ou artificielle, les rayonnements ionisants produisent les mêmes effets sur la matière vivante.”

La décroissance radioactive est la suivante :

- pour l’iode 131 (^{131}I): 8 jours ;
- pour le carbone 14 (^{14}C): 5 700 ans ;
- pour le potassium 40 (^{40}K): 1,3 milliard d’années.

Tous les radioéléments ne sont pas éliminés naturellement (urines...) à la même vitesse. Certains peuvent s’accumuler dans des organes spécifiques (os, foie...) avant d’être évacués du corps. Pour chacun des éléments radioactifs, on définit, en plus de sa période radioactive, une période biologique, temps au bout duquel la moitié de la masse d’une substance a été éliminée de l’organisme par des processus physiologiques.

On définit également une période effective pour un radionucléide donné. Celle-ci est fonction de la période physique et de la période biologique : c’est le temps nécessaire pour que l’activité du radionucléide considéré ait diminué de moitié, dans le corps, après correction de la décroissance radioactive du radionucléide.

L’EXPOSITION DE L’HOMME AUX RAYONNEMENTS

Pour apprécier à leur juste valeur les risques liés aux rayonnements ionisants, il est nécessaire de regarder l’exposition naturelle à laquelle l’Homme a été soumis. Tous les organismes vivants y sont adaptés et semblent capables de corriger, jusqu’à un certain degré, les dégâts dus à l’irradiation.

En France, l’exposition annuelle de l’homme

aux rayonnements ionisants est d’environ deux millisieverts. En plus de cette radioactivité naturelle, nous sommes exposés à des rayonnements provenant de sources artificielles.

Ces rayonnements sont du même type que ceux émis par des sources naturelles et leurs effets sur la matière vivante sont, à dose égale, identiques. Ce sont essentiellement les radiographies médicales ou dentaires. Moins de 1 % provient d’autres sources comme les retombées des essais aériens des armes nucléaires et les retombées de l’accident de Tchernobyl.

L’EXPOSITION NATURELLE

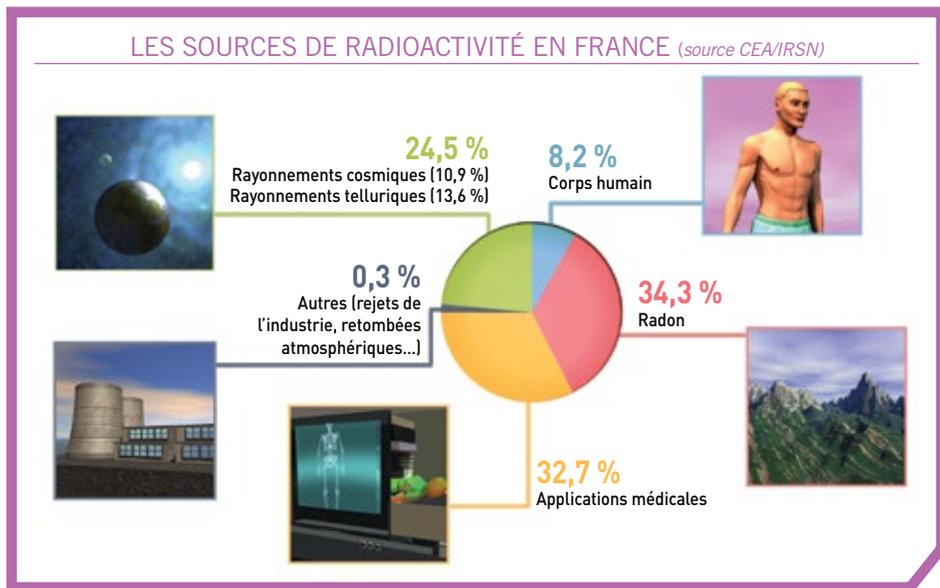
Les rayonnements ionisants émanant de sources naturelles ont des origines diverses et se répartissent en trois principaux types :

- **les rayonnements cosmiques**

Ils proviennent de l’espace extra-terrestre et en particulier du Soleil. En Europe, ils se traduisent, pour tous ceux qui vivent à une altitude voisine du niveau de la mer, par une irradiation moyenne d’environ 0,30 millisievert par an. Lorsqu’on s’élève en altitude, l’exposition aux rayonnements augmente ;

- **les éléments radioactifs contenus dans le sol**

Il s’agit principalement de l’uranium, du thorium ou du potassium. Pour chacun de nous en France, ces éléments provoquent une irradiation moyenne d’environ 0,35 millisieverts par an. Il faut noter que dans certaines régions de France et du monde dont le sol contient des roches comme le granit, ces irradiations sont plus fortes ;



• **les éléments radioactifs naturels que nous absorbons en respirant ou en nous nourrissant**

Des émanations gazeuses de certains produits issus de la désintégration de l'uranium contenu dans le sol tel que le radon, ou le potassium des aliments dont nous fixons une partie dans notre organisme, provoquent chez chacun d'entre nous, en moyenne, une irradiation de 1,55 millisievert par an. La principale source d'irradiation naturelle est le radon 222, gaz naturel radioactif. Elle représente environ un tiers de l'irradiation reçue et augmente dans les régions **granitiques**.

Le granit est une roche riche en uranium qui va engendrer du radon par désintégrations successives.

L'EXPOSITION ARTIFICIELLE

Pour chaque habitant, l'exposition annuelle moyenne aux sources artificielles d'irradiation est d'environ 1 millisievert.

Celles-ci sont en moyenne principalement :

• **les irradiations médicales**

La dose efficace moyenne du fait des examens radiologiques à visée diagnostique (comme les radiographies médicales, dentaires et les scanners...) dépasse 1 mSv par an et par habitant ;

• **les activités industrielles non nucléaires**

La combustion du charbon, l'utilisation d'engrais phosphatés, les montres à cadrans lumineux de nos grands-pères entraînent une irradiation de 0,01 millisievert par an ;

• **les activités industrielles nucléaires**

Les centrales nucléaires, les usines de retraitement, les retombées des anciens essais nucléaires atmosphériques et de Tchernobyl, etc., exposent chaque homme à 0,002 millisievert par an.

POUR PROTÉGER LA POPULATION ET LES TRAVAILLEURS,
DES MESURES ONT ÉTÉ FIXÉES
À L'ÉCHELLE INTERNATIONALE ET NATIONALE.

La radioprotection



Appareil de radioprotection portable de contrôle.



© L. Zylberman

Équipement d'un technicien travaillant en milieu nucléaire : dosimètres, gants, bague, ceinture....

LES RÈGLES DE RADIOPROTECTION

La radioprotection est un ensemble de mesures destinées à assurer la protection sanitaire de la population et des travailleurs.

Les trois règles de protection contre toutes les sources de rayonnements sont :

- **s'éloigner de la source de rayonnements**, car leur intensité diminue avec la distance ;
- **mettre un ou plusieurs écrans entre la source de rayonnements et les personnes**. Par exemple, dans les industries nucléaires, de multiples écrans protègent les travailleurs. Ce sont des murs de béton, des parois en plomb et des verres spéciaux dopés en plomb ;
- **diminuer au maximum la durée de l'exposition aux rayonnements**.

Ces mesures de radioprotection peuvent être comparées à celles que l'on prend contre les ultraviolets : utilisation d'une crème solaire qui agit comme un écran et limitation de l'exposition au Soleil.

Pour les sources radioactives émettant des

rayonnements, deux autres recommandations sont à ajouter aux précédentes :

- attendre, quand cela est possible, la décroissance naturelle radioactive des éléments ;
- utiliser la dilution lorsque l'on a affaire à des gaz radioactifs.

Par exemple, les installations nucléaires ne sont pas démantelées aussitôt après leur arrêt, de façon à attendre une diminution de l'activité des zones.

Dans les mines d'uranium souterraines, une ventilation très efficace permet de maintenir une faible concentration de radon dans l'air que respirent les mineurs.

Les travailleurs pouvant être soumis à des rayonnements ionisants lors de leur activité (industries nucléaires, médecins, radiologues...) portent dosimètres, gants, ceintures, bague qui mesurent la quantité de rayonnements auxquels ils ont été soumis. Ces dispositifs permettent de s'assurer que la personne n'a pas reçu une dose supérieure à la norme tolérée ou d'en mesurer la localisation et l'importance.

LES NORMES INTERNATIONALES DE RADIOPROTECTION

La prise de conscience du danger potentiel d'une exposition excessive aux rayonnements ionisants a amené les autorités à fixer des normes réglementaires pour les limites de doses. Ces limites correspondent à un risque supplémentaire minime par rapport au risque naturel, qui le rend donc acceptable.

- Depuis 1928, la Commission internationale

“Plusieurs commissions indépendantes ont amené les autorités à fixer des normes réglementaires pour les limites de doses.”

de protection radiologique (CIPR) rassemble des médecins, physiciens, biologistes... de tous pays. Cette autorité scientifique indépendante émet des avis précieux en matière de radioprotection, pour les réglementations propres à chaque État.

- L'UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*) réunit des scientifiques représentant 27 nations. Il a été créé en 1955 au sein de l'ONU pour rassembler le maximum de données sur les niveaux d'exposition dus aux diverses sources de rayonnements ionisants et leurs conséquences biologiques, sanitaires et environnementales. Il établit un bilan régulier de ces données, mais également une évaluation des effets en étudiant les résultats expérimentaux, l'estimation des doses, les données humaines.

- Au niveau européen, l'Union européenne reprend ces avis dans ses propres normes ou directives.

Les normes légales de radioprotection donnent :

- une limite de dose efficace de 1 mSv/an pour la population et de 20 mSv/an en moyenne sur 5 ans pour les personnes directement affectées aux travaux sous rayonnements ionisants (industrie nucléaire, radiologie médicale) ;
- une limite de dose équivalente (organe) de 150 mSv pour le cristallin (œil) et 500 mSv pour la peau et les mains.

Le législateur divise par 20 les doses admissibles des travailleurs pour la population, car il considère que celle-ci comporte des sujets



© L. Godard/CEA

Unité de radioprotection effectuant des prélèvements de terre près d'un centre, pour analyse.

de tous âges, de tous états de santé et qui ne sont pas si bien suivis médicalement...

AU NIVEAU NATIONAL

En France, c'est l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), autorité administrative indépendante, créée en 2006, qui a en charge le contrôle de la sûreté et de la radioprotection. L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), appui technique de l'ASN, est placé sous la tutelle conjointe des ministres chargés de la Défense, de l'Environnement, de l'Industrie, de la Recherche et de la Santé. Il a été créé en février 2002 par la réunion de l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) et de l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI).

L'IRSN réalise des recherches, des expertises et des travaux dans les domaines de la sûreté nucléaire, de la protection contre les rayonnements ionisants, du contrôle et de la protection des matières nucléaires, et de la protection contre les actes de malveillance.

LES RAYONNEMENTS SONT D'UNE TRÈS GRANDE UTILITÉ
EN MÉDECINE ET DANS L'INDUSTRIE.

Exemples d'applications des rayonnements



Analyse de fragments
d'ADN marqués au
phosphate radioactif.

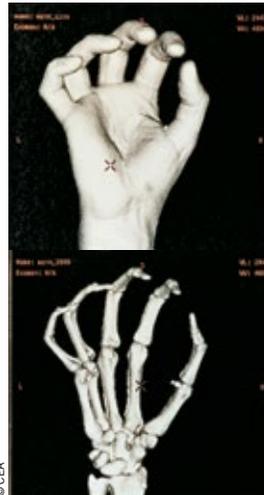
“La radiographie médicale utilise la capacité qu’ont les rayons X de traverser le corps humain.”

LA RADIOGRAPHIE ET LA RADIOTHÉRAPIE EN MÉDECINE

La **radiographie médicale** utilise la capacité qu’ont les rayons X de traverser le corps humain. Les différents tissus (os, muscles) ne laissent toutefois pas passer les rayons X de la même façon : les os sont plus opaques et les muscles plus transparents. Une radiographie permet donc de voir par contraste le squelette et, par exemple, d’observer une fracture pour mieux la soigner. Elle permet également de regarder si des tissus sont endommagés par une maladie : les radiographies des poumons, couramment pratiquées, donnent au médecin d’importantes informations sur l’état de santé du patient.

Le morphomètre, conçu par des chercheurs du CEA avec la collaboration de General Electric MSE (Medical System Europe), utilise aussi les rayons X. Cet appareil permet d’acquérir et de visualiser en trois dimensions un organe complet et de manipuler par voie informatique soit un réseau vasculaire complet, soit une structure osseuse.

Autre machine, le **tomographe (ou scanner) à rayons X**, à partir d’un grand nombre de projections (quelques centaines à quelques milliers) sur un détecteur linéaire, d’un calculateur et d’un logiciel de reconstruction permet d’obtenir des “coupes”, du corps entier ou de parties du corps (crâne...). Il est utilisé pour la localisation précise de lésions, tumeurs...



© CEA

Le morphomètre permet d’acquérir et de visualiser un organe complet en trois dimensions.

PREMIER ÉQUIPEMENT DE RADIOGRAPHIE ITINÉRANT

Marie Curie, née Maria Salomea Skłodowska, physicienne française d’origine polonaise, a mené avec son mari, Pierre Curie, des recherches sur les radiations.

À la déclaration de la Première Guerre mondiale, Marie Curie met ses connaissances au service de la médecine de guerre et développe la radiographie pour les besoins de la santé. Elle installe alors des appareils de radiographie transportables, pesant au total 250 kg, dans des véhicules appelés les “curiettes”. Elle forme aussi les premiers infirmiers spécialisés en radiologie. En étant au plus près des zones de combat, elle a permis aux médecins d’opérer les patients précisément à l’endroit même où le projectile était logé et non plus à l’aveugle.

“L’irradiation permet de détruire à froid les micro-organismes comme les champignons, les bactéries ou les virus.”

Le scintigraphie conventionnelle permet d’obtenir une imagerie fonctionnelle d’un organe après administration d’un traceur spécifique au patient.



© P. Stoppa/CEA

Une autre grande application des rayonnements en médecine est la **radiothérapie** ou traitement par les rayonnements ionisants. Quelques temps après la découverte des rayons X, il y a un peu plus d’un siècle, on s’est aperçu que l’action biologique des rayonnements pouvait être utilisée, à forte dose, pour traiter les cancers. Les cellules tumorales, parce qu’elles se divisent rapidement, sont plus sensibles que les autres aux rayonnements ionisants. En envoyant sur ces cellules une forte dose de rayonnements localisée, il est possible de les tuer et d’éliminer la tumeur. Aujourd’hui, près de la moitié des personnes qui ont pu être guéries d’un cancer l’ont été grâce à la radiothérapie.

Dès la fin des années 1950, l’**imagerie médicale** est apparue et connaît un essor grandissant grâce aux développements technologiques et à la montée en puissance des traitements informatiques des signaux. La tomographie par émission de

positons (TEP), le scanner ou la scintigraphie nécessitent l’utilisation d’isotopes radioactifs (principalement oxygène 15, azote 13, carbone 11 et fluor 18) appelés **radiotraceurs**. Produits soit dans un réacteur nucléaire, soit dans un cyclotron, ils sont injectés au patient. Les rayonnements émis par ces radiotraceurs permettent de suivre la progression d’une substance marquée. Ce principe de traçage est utilisé en biologie notamment pour le développement de médicaments. Ces rayonnements peuvent également être utilisés en médecine à des fins de diagnostic ou de thérapie.

LA STÉRILISATION PAR RAYONNEMENT GAMMA

L’irradiation du matériel chirurgical et des aliments

L’irradiation est un moyen privilégié pour détruire à froid les micro-organismes (champignons,

Épices stérilisées par irradiation aux rayonnements gamma.



© PhotoDisc

Irradiation de statues polychromes pour désinsectisation, sur le site d'ARC-Nucléart au CEA Grenoble.



© CEA/ARC/Nucléart

bactéries, virus...). De ce fait de nombreuses applications des rayonnements existent pour la stérilisation d'objets. Par exemple, la majorité du matériel médico-chirurgical (seringues jetables, etc.) est aujourd'hui radio-stérilisée par des industriels spécialisés. De la même façon, le traitement par irradiations d'ingrédients alimentaires permet d'améliorer l'hygiène et la conservation des aliments: stérilisation des épices, élimination des salmonelles des crevettes et des cuisses de grenouilles... Cette technique porte aussi le nom **d'ionisation des aliments**.

L'irradiation d'objets d'art

Le traitement par des rayons gamma permet d'éliminer les larves, insectes ou bactéries logés à l'intérieur des objets, afin de les protéger de la dégradation. Cette technique est utilisée dans

le traitement de conservation et de restauration d'objets d'art, d'ethnologie et d'archéologie. Elle est applicable à différents types de matériaux: bois, pierre, cuir... Au préalable, elle permet de conserver des vestiges très dégradés: statues rongées par des vers, épaves anciennes en bois gorgé d'eau, etc. Dans ce cas, un traitement d'imprégnation par une résine photosensible, suivi d'un durcissement (polymérisation) sous irradiation, permet de consolider puis de restaurer les œuvres (procédé dit "Nucléart").

DES ŒUVRES D'ART PASSÉES AUX RAYONS

En 1913, le physicien américain Robert Wood invente un écran éliminant les rayonnements visibles pour ne laisser passer que les ultraviolets. Ces radiations rendent fluorescents certains composés organiques, comme les vernis à base de résines naturelles. Appliquée aux peintures, cette technique de photographie sous ultraviolet permet de visualiser les réparations et restaurations successives.

L'utilisation des rayons ionisants est un atout pour percer les secrets des œuvres d'art et de mieux comprendre les processus d'altération afin d'en assurer une meilleure conservation. La radiographie explore l'intérieur de celles-ci et permet d'en savoir plus sur elles, notamment les supports utilisés (bois, tissage...), les couches picturales (repentir, changement dans la composition, réutilisation des supports...), et pour les statues: l'armature métallique, les étapes de montage, les zones de fragilité...



© CEA

Préparation de la Vénus de Milo pour contrôle gammagraphique. Cette opération a été menée pour visualiser l'intérieur de la statue afin de repérer ses zones fragiles, avant sa rénovation.

“La capacité des rayonnements à traverser la matière est utilisée dans le milieu industriel.”

LA DATATION EN SCIENCES DE LA TERRE

Les applications de la radioactivité dans les sciences de la Terre offrent un éventail extrêmement large. Elles permettent d'étudier l'état physique (solide, liquide, gaz), une zone géographique (atmosphère, océan, continent), les différentes échelles de temps (le milliard d'années pour certaines roches, quelques jours pour la circulation atmosphérique) ou d'espace (datation d'un objet ou étude à l'échelle de la planète). Les travaux de recherche sur l'évolution passée du climat reposent sur des méthodes de carottage, d'analyse physico-chimique ultra-précises, de datation, sur la compréhension des relations entre les paramètres mesurés sur les archives naturelles et les variables climatiques.

L'UTILISATION DES RAYONNEMENTS DANS L'INDUSTRIE

Élaboration de matériaux

L'irradiation provoque, dans certaines conditions, des réactions chimiques qui permettent l'élaboration de matériaux plus résistants, plus légers, capables de performances supérieures. C'est la chimie sous rayonnement, dont les applications sont nombreuses en médecine et dans l'industrie (par exemple isolants, câbles, gaines thermorétractables dans l'industrie électrique...).

Radiographie et neutronographie

On peut voir à travers la matière, en utilisant des sources de rayonnements ou de particules :

- la radiographie industrielle (X ou gamma) est très utilisée en chaudronnerie, pour l'analyse des soudures, dans les constructions navales, pour le pétrole, en pétrochimie, dans l'aéronautique, pour la construction des centrales nucléaires, dans le génie civil (charpentes métalliques, structures en béton précontraint...).

Ces examens radiographiques consistent, comme en médecine, à enregistrer l'image de la perturbation d'un faisceau de rayonnements X (ou gamma) provoquée par l'objet à contrôler. Ils permettent sans détruire le matériau de repérer les défauts. Les rayonnements X servent aussi à visualiser les objets contenus à l'intérieur des bagages dans les aéroports.



© Photodisc

Dans les aéroports, les rayonnements X servent à visualiser les objets contenus à l'intérieur des bagages.



© P.Stroppe/CEA

Contrôle de conteneurs maritimes par inspection neutronique.

• **la neutronographie**, pour certains types d'examens, se sert des neutrons comme source de rayonnements.

En effet, et contrairement aux rayons X, les neutrons peuvent aisément traverser des matériaux de forte densité (tels l'acier et le plomb) et sont très bien adaptés à l'imagerie des matériaux riches en hydrogène. Par exemple, la neutronographie permet de voir l'arrangement et la continuité d'une poudre explosive à travers une paroi en acier. Ainsi, la qualité des dispositifs pyrotechniques utilisés dans la fusée Ariane est contrôlée au CEA par cette technique. Loin d'être concurrents, la

radiographie X et la neutronographie sont complémentaires.

Jauges radiométriques

Les jauges radiométriques utilisent des sources radioactives scellées, émettrices de rayonnements gamma, de particules bêta ou de neutrons.

Elles servent au contrôle des niveaux de remplissage, à la mesure des densités de fluides dans les canalisations, à la mesure des épaisseurs ou des grammages (de la feuille de papier aux tôles d'acier), à l'analyse des minerais et des alliages...

LA COLLECTION

- 1 > L'atome
- 2 > La radioactivité
- 3 > L'homme et les rayonnements
- 4 > L'énergie
- 5 > L'énergie nucléaire : fusion et fission
- 6 > Le fonctionnement d'un réacteur nucléaire
- 7 > Le cycle du combustible nucléaire
- 8 > La microélectronique
- 9 > Le laser
- 10 > L'imagerie médicale
- 11 > L'astrophysique nucléaire
- 12 > L'hydrogène
- 13 > Le soleil
- 14 > Les déchets radioactifs
- 15 > Le climat
- 16 > La simulation numérique
- 17 > Les séismes
- 18 > Le nanomonde
- 19 > Energies du XXI^e siècle
- 20 > La chimie pour l'énergie

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

© Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, 2014
Direction de la communication
Bâtiment Siège
91191 Gif sur Yvette cedex - www.cea.fr

ISSN 1637-5408.

cea
Jeunes