

- 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

DE LA RECHERCHE
À L'INDUSTRIE

3 > L'homme et les rayonnements



LA DIVERSITÉ DES RAYONNEMENTS
LES EFFETS BIOLOGIQUES
DES RAYONNEMENTS
LA RADIOPROTECTION
EXEMPLES D'APPLICATIONS
DES 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	17
Au niveau national	17



La principale source d'irradiation naturelle est issue du radon 222, gaz naturel radioactif ; elle augmente dans les régions granitiques.

EXEMPLES D'APPLICATIONS DES RAYONNEMENTS	18
La radiographie et la radiothérapie en médecine	19
La stérilisation d'objets par rayonnements gamma	20
L'utilisation des rayonnements dans l'industrie	22



Des rayonnements aux multiples facettes : ceux émis par le Soleil, la radiographie et le traitement d'objets d'art.

“Depuis son apparition sur terre, l'homme est exposé à une multitude de rayonnements. Il a découvert ce phénomène à la fin du XIX^e siècle.”

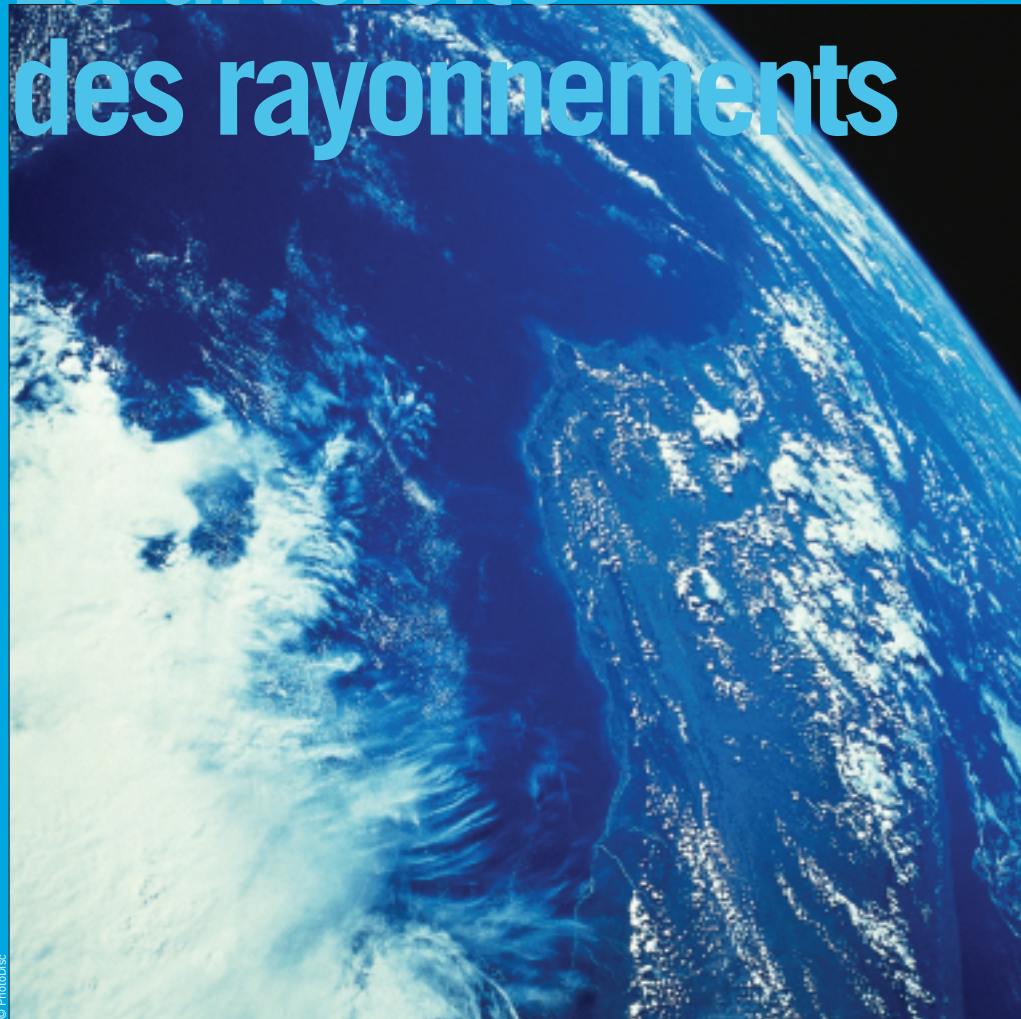
introduction

La première fois que l'homme a pris conscience qu'il était entouré de rayonnements invisibles, c'est en 1895, quand Wilhelm Roentgen met en évidence qu'une plaque photographique peut être impressionnée par un rayonnement invisible pouvant traverser la matière. Il appelle X ce rayonnement inconnu. 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. L'homme se rend 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 et sur la radioprotection de l'homme.

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

La diversité des rayonnements



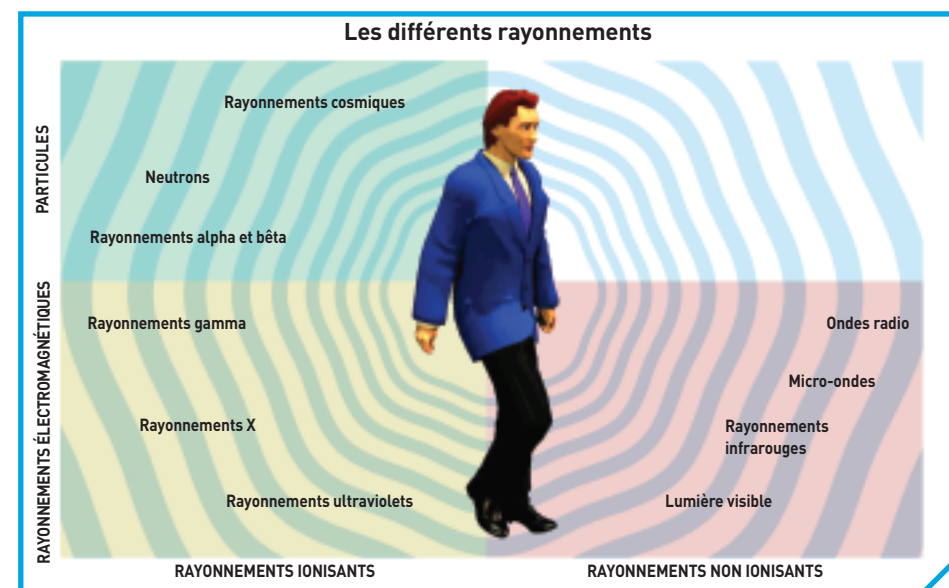
© PhotoDisc

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 connus sous le nom de rayonnements ultraviolets et infrarouges. Ces rayonnements sont des ondes électromagnétiques comme le sont aussi les ondes radio, les rayons X et les rayons gamma.

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.

Les éléments radioactifs présents dans notre environnement émettent des rayonnements alpha, bêta et gamma (voir livret *La radioactivité*). Les rayonnements gamma sont des ondes électromagnétiques tandis que les rayonnements alpha



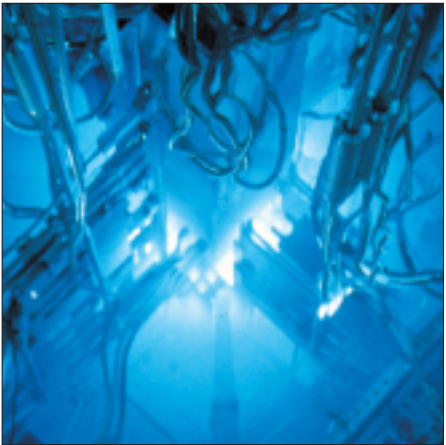
“Le pouvoir pénétrant des rayonnements ionisants est variable selon leur nature.”

et bêta sont des particules qui sont 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 particuliers existent aussi les neutrons.

LES DIFFÉRENTS RAYONNEMENTS IONISANTS

Les rayonnements les plus énergétiques transfèrent assez d'énergie aux électrons de la matière pour les arracher de leur atome. Les atomes ainsi privés de certains de leurs électrons sont alors chargés positivement. Les atomes voisins qui accueillent les électrons se

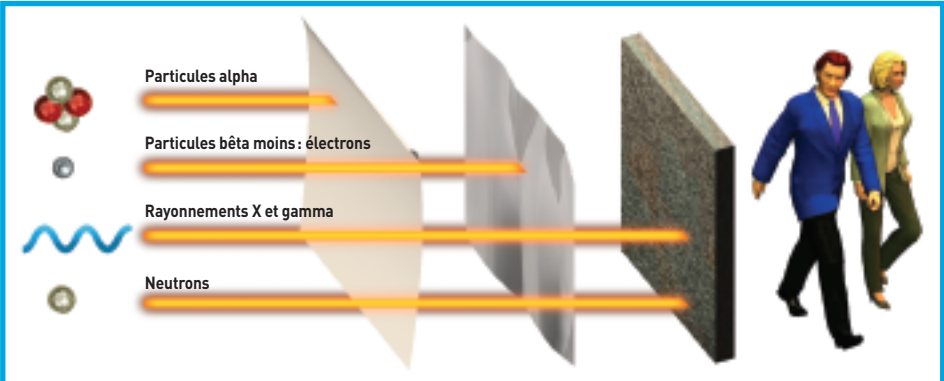
Cœur du réacteur Osiris où se produit la fission d'atomes.



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, les font changer d'énergie et émettre des rayons X. Les rayons gamma sont émis par des atomes radioactifs lors de leur désintégration :
- 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 vol des avions long courrier et subsoniques : ils participent à 30 % de la dose reçue par le personnel navigant.



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 arrêter les électrons.
- **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 arrête les neutrons.

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 de matière**.

Unité mesurant l'énergie (voir livret *L'énergie*).

À FORTE DOSE, LES RAYONNEMENTS IONISANTS SONT DANGEREUX POUR L'HOMME.

Les effets biologiques des rayonnements



© CEA/L. Sabatier

L'ÉTUDE DES EFFETS DES RAYONNEMENTS

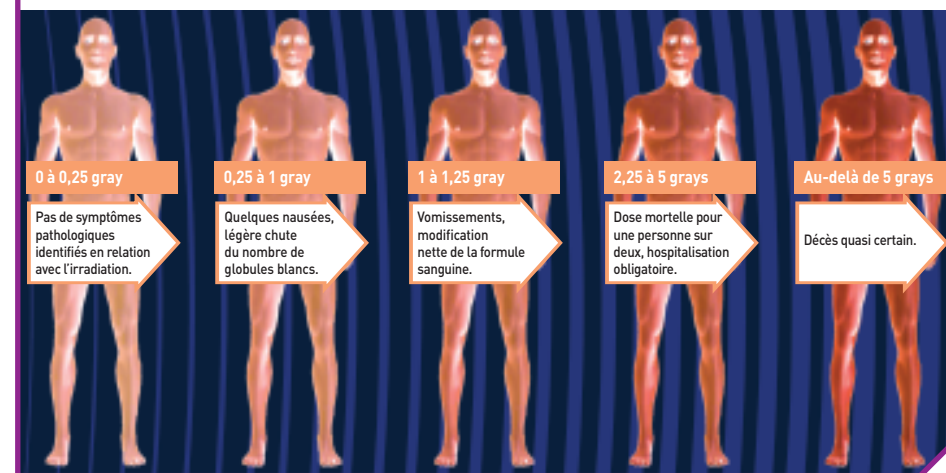
Les effets des rayonnements ultraviolets (Soleil) sont bien connus du grand public. Si, à faibles doses, ils apparaissent assez inoffensifs, à forte dose, certains peuvent présenter des dangers. Par exemple, des expositions prolongées au soleil provoquent des coups de soleil, des brûlures dues à la présence 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 et travailleurs dans les mines d'uranium...).

Par ailleurs, grâce à l'expérimentation, les chercheurs observent, en particulier, les dégâts et perturbations engendrés par les rayonnements ionisants sur l'ADN (très longue molécule présente dans les cellules vivantes, supportant

Effets liés à une irradiation homogène



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

l'information génétique). Ils analysent aussi les mécanismes de réparation qu'une cellule est capable de mettre en jeu lorsque sa molécule d'ADN a été détériorée. 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 les 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. 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.

Pour rendre compte de la nocivité plus ou moins grande des rayonnements à dose

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 qui se produisent 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). Le gray a remplacé le rad en 1986.
1 gray = 100 rads = 1 joule par kilo de matière irradiée.

LE SIEVERT

Les effets biologiques des rayonnements sur un organisme exposé (selon sa nature et les organes exposés) se mesurent en sievert et s'expriment également en “équivalent de dose”. L'unité la plus couramment utilisée est le millisievert, ou millième de sievert (voir livret *La radioactivité*).

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)**.

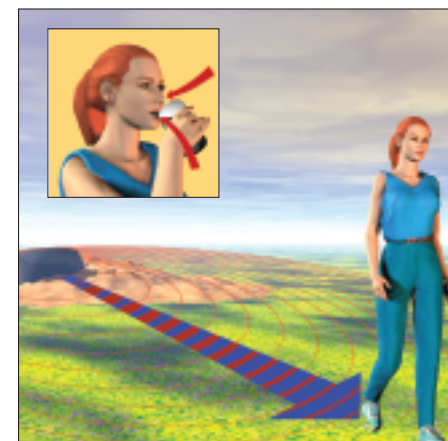
Cependant, le risque biologique n'est pas uniforme pour l'ensemble de l'organisme. Il dépend de la radiosensibilité de l'organe irradié et les spécialistes définissent une nouvelle dose, **la dose efficace** (aussi exprimée en sieverts) qui tient compte de ces différences de sensibilité des organes et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

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



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

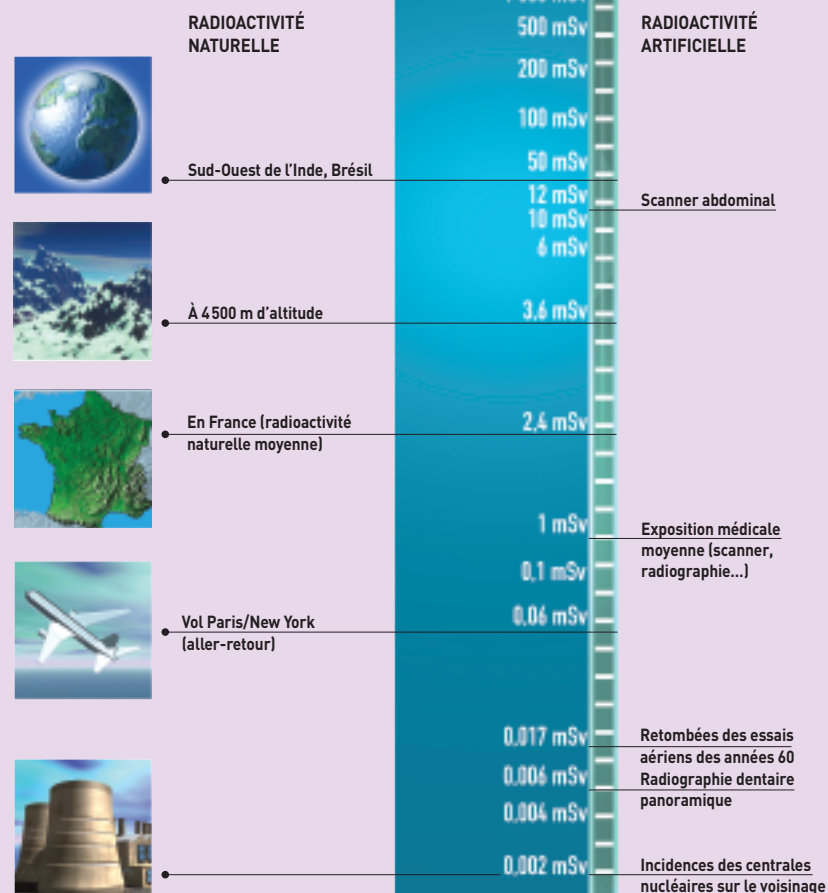
• **L'exposition interne (contamination interne) est possible lorsque des substances radioactives se trouvent à l'intérieur de l'organisme.** Celles-ci provoquent une irradiation interne. Elles ont pu pénétrer par inhalation, par ingestion, par blessure de la peau, et se distribuent ensuite dans l'organisme. On parle alors de contamination interne. Celle-ci 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 par 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



“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) : 5700 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 l'activité d'une substance radioactive a été éliminée de l'organisme, par des voies naturelles.

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 de l'homme à laquelle il a toujours 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 de la matière vivante sont, à dose égale, identiques. Ce sont essentiellement

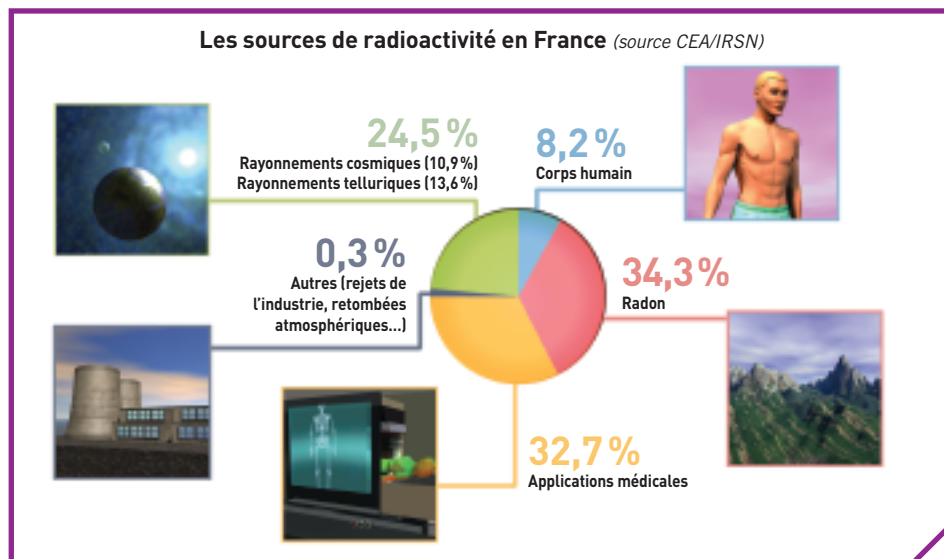
les radiographies médicales ou dentaires. Seulement 1,5 % provient d'autres sources comme les retombées des essais aériens des armes nucléaires et les retombées de l'accident de Tchernobyl.

L'EXPOSITION NATURELLE

Les rayonnements ionisants que nous recevons 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. Ces éléments provoquent en moyenne pour chacun de nous en France une irradiation d'environ 0,35 millisievert 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

“60 % de la radioactivité à laquelle nous sommes soumis est d'origine naturelle.”



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

L'EXPOSITION ARTIFICIELLE

Pour chaque habitant, l'exposition annuelle moyenne aux sources artificielles d'irradiation est d'environ 1 millisievert. Celles-ci sont principalement :

• les irradiations médicales

Il s'agit principalement des radiographies médicales et dentaires qui provoquent une irradiation externe proche de 1 millisievert par an (moyenne en France) ;

• les activités industrielles non nucléaires

La combustion du charbon, l'utilisation d'engrais phosphatés, la télévision, les montres à cadrans lumineux entraînent, en moyenne, 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 en moyenne 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



LES RÈGLES DE RADIOPROTECTION

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

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 chargés 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 leur arrêt, de façon à attendre une diminution de l'activité des zones concernées. Dans les mines d'uranium souterraines, une ventilation très effi-

Le "dosimètre" permet de mesurer la quantité de rayonnements auquel le travailleur est soumis.



© CEVA, Gonnin

cace 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 un "film" ou "dosimètre" qui mesure 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 l'importance.

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

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, ce qui le rend donc acceptable.

• Depuis 1928, la **Commission internationale 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 21 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 constitue 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, les mains.

Le législateur divise par 20 les doses admissibles des travailleurs pour la population car il considère que celle-ci comporte des sujets de tous âges, de tous états de santé et qui ne sont pas si bien suivis médicalement...

AU NIVEAU NATIONAL

En France, la radioprotection relève de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), 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



© PhotoDisc

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

LA RADIOGRAPHIE ET LA RADIOTHÉRAPIE EN MÉDECINE

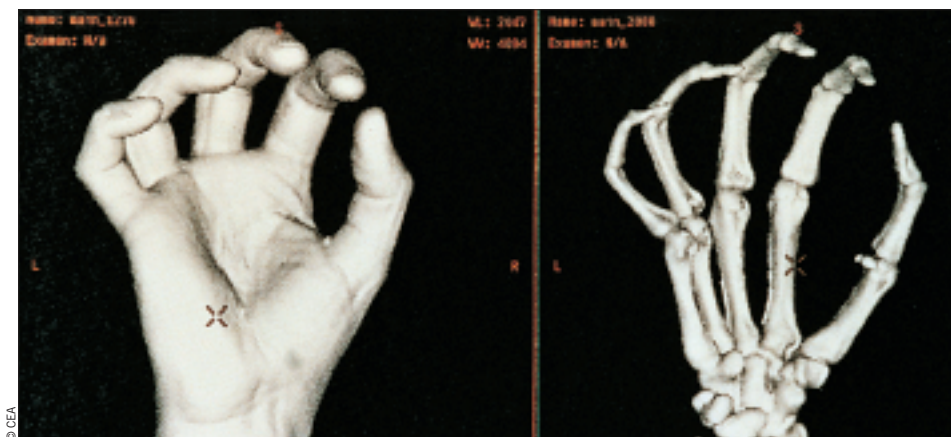
La **radiographie médicale** utilise la capacité qu’ont les rayons X de traverser le corps humain. Les différents tissus (os, muscles) ne laissent toutefois pas passer les rayons X de la même façon : les os sont plus opaques et les muscles sont plus transparents. Une radiographie permet donc de voir 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 **tomographe (ou scanner) à rayons X** est une machine qui, à partir d’un grand nombre de

projections (quelques centaines à quelques milliers) sur un détecteur linéaire, d’un ordinateur et d’un logiciel de reconstruction permet d’obtenir des “coupes”, soit du corps entier, soit de parties du corps (crâne...), et est utilisé pour la localisation précise de lésions, tumeurs...

Un autre outil utilisant les rayons X, conçu par des chercheurs du CEA avec la collaboration de General Electric MSE (Medical System Europe), est le **morphomètre**. Cet appareil permet, pour la première fois, d’acquérir et de visualiser en trois dimensions un organe complet avec une qualité d’image inégalée. En particulier, il est enfin possible de visualiser et de manipuler par voie informatique soit un réseau vasculaire complet, soit une structure osseuse.

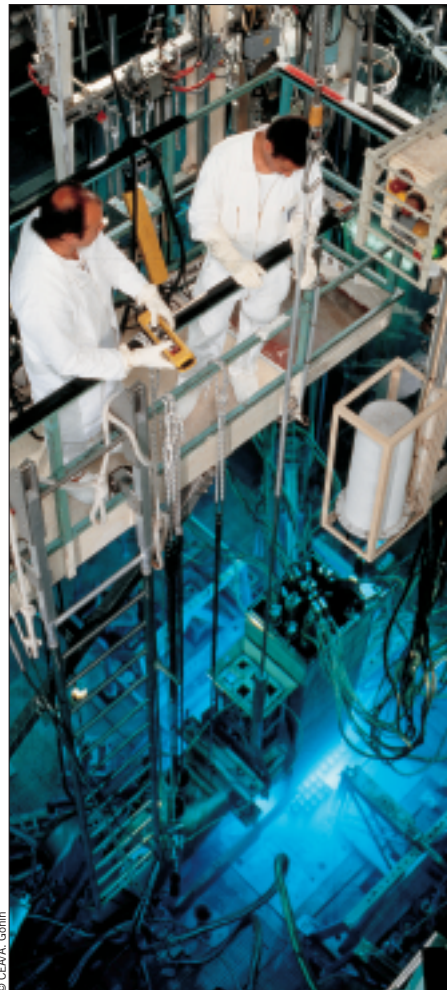
Le morphomètre permet d’acquérir et de visualiser un organe complet en trois dimensions.



© CEA

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

Fabrication de radioéléments, utilisés en médecine nucléaire pour le traitement des cancers, dans l'un des réacteurs de recherche du CEA, Osiris.



Dans le souci de toujours diminuer la dose reçue par les patients, Georges Charpak, un Français prix Nobel de physique 1992, a imaginé un détecteur de rayonnements très sensible permettant de diminuer par 2 ou 3 cette dose en donnant les mêmes informations qu'un détecteur traditionnel.

Une autre grande application des rayonnements en médecine est la **radiothérapie** ou traitement par les rayonnements ionisants. Quelques mois après la découverte des rayons X, il y a un peu plus d'un siècle, on s'aperçut 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 certaine dose de rayonnements, 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.

LA STÉRILISATION D'OBJETS PAR RAYONNEMENTS GAMMA

Irradiation du matériel chirurgical et des aliments

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

L'irradiation par rayonnements gamma permet de stériliser des épices.



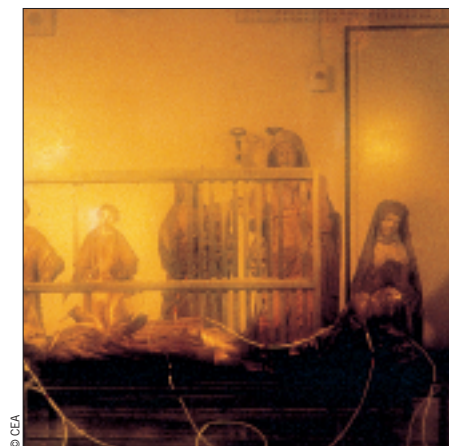
© PhotoDisc

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 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**.

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...

Une autre technique 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").



© CEA

Cellule d'irradiation d'objets d'art vue à travers un hublot.

“Le traitement par des rayons gamma permet de protéger les objets d'art de la dégradation.”

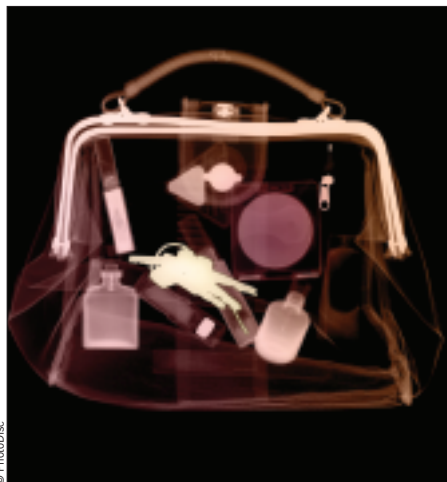
“La capacité des rayonnements à traverser la matière est utilisée dans le milieu industriel.”

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...).

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



© PhotoDisc

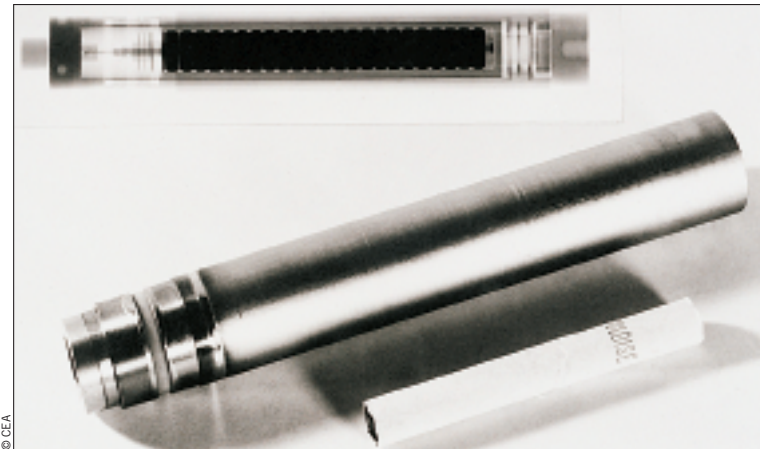
Radiographie et neutronographie

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 les constructions soudées, 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.

- 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

Rappelons que le neutron n'est pas d'origine radioactive, mais provient des réacteurs nucléaires et de l'interaction du rayonnement cosmique avec l'atmosphère.



© CEA

Convertisseur avec, en haut de l'image, sa représentation neutronographique.

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...

Quatre jauges nucléaires mesurent en continu les valeurs de turbidité des eaux du barrage de Genissiat, sur le Rhône, afin d'en contrôler les lâchers en aval.



© CEA