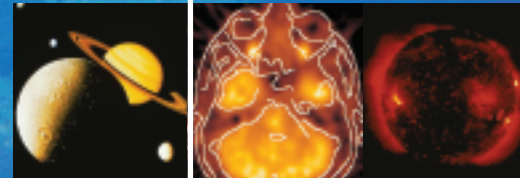


- 1 - L'atome
- 2 - La radioactivité
- 3 - L'homme et les rayonnements
- 4 - L'énergie
- 5 - L'énergie nucléaire : fusion et fission
- 6 - Le fonctionnement d'un réacteur nucléaire
- 7 - Le cycle du combustible nucléaire
- 8 - La microélectronique

DE LA RECHERCHE
À L'INDUSTRIE

2 > La radioactivité



DÉFINITION DE LA RADIOACTIVITÉ
LES ORIGINES DES RADIOÉLÉMENTS
LES APPLICATIONS DE LA RADIOACTIVITÉ



**DÉFINITION
DE LA RADIOACTIVITÉ** 4

La radioactivité, propriété naturelle de certains atomes 5

Les mesures de la radioactivité 6

La décroissance radioactive 7

Les différents types de désintégrations 9

**LES ORIGINES
DES RADIOÉLÉMENTS** 11

Les radio-isotopes naturels 12

Les radio-isotopes artificiels 13

**LES APPLICATIONS
DE LA RADIOACTIVITÉ** 14

Les traceurs radioactifs 15

La datation 19

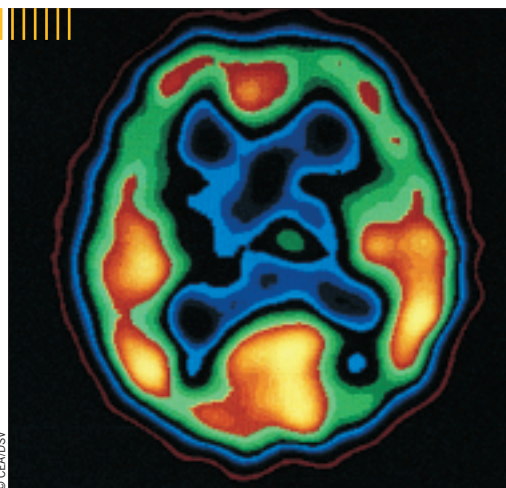
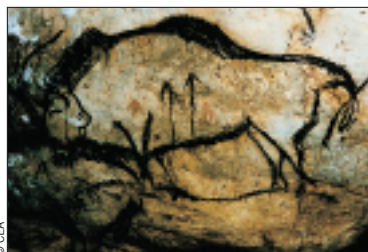


Image du cerveau obtenue grâce à un tomographe par émission de positons.

La radioactivité est utilisée pour dater des vestiges de l'histoire ou de la préhistoire.



De gauche à droite : Henri Becquerel, Wilhelm Roentgen, Pierre et Marie Curie.

“La radioactivité n’a pas été inventée par l’homme. C’est un phénomène naturel qui a été découvert à la fin du XIX^e siècle.”

introduction

La radioactivité n’a pas été inventée par l’homme. Elle a été découverte, il y a un peu plus d’un siècle, en 1896, par le physicien français Henri Becquerel. Ce dernier cherchait à savoir si les rayons qu’émettaient les sels fluorescents d’uranium étaient les mêmes que les rayons X découverts en 1895 par Wilhelm Roentgen, physicien allemand. Il pensait que les sels d’uranium, après avoir été excités par la lumière, émettaient ces rayons X. Quelle ne fut pas sa surprise lorsqu’à Paris, en mars 1896, il découvrit que le

film photographique avait été impressionné sans avoir été exposé à la lumière du soleil ! Il en conclut que l’uranium émettait spontanément et sans s’épuiser des rayonnements invisibles, différents des rayons X. Le phénomène découvert est appelé radioactivité (du latin *radius*: rayon). À la suite des travaux d’Henri Becquerel, Pierre et Marie Curie isolèrent en 1898 le polonium et le radium, des éléments radioactifs inconnus présents dans le minerai d’uranium.

LA RADIOACTIVITÉ EST LA TRANSFORMATION
D'UN ATOME AVEC ÉMISSION DE RAYONNEMENTS.

Définition de la radioactivité



LA RADIOACTIVITÉ, PROPRIÉTÉ NATURELLE DE CERTAINS ATOMES

Dans la nature, la plupart des noyaux d'atomes sont stables.

Cependant, certains atomes ont des noyaux instables, ce qui est dû à un excès soit de protons, soit de neutrons, ou encore à un excès des deux. **Ils sont dits radioactifs et sont appelés radio-isotopes ou radionucléides.**

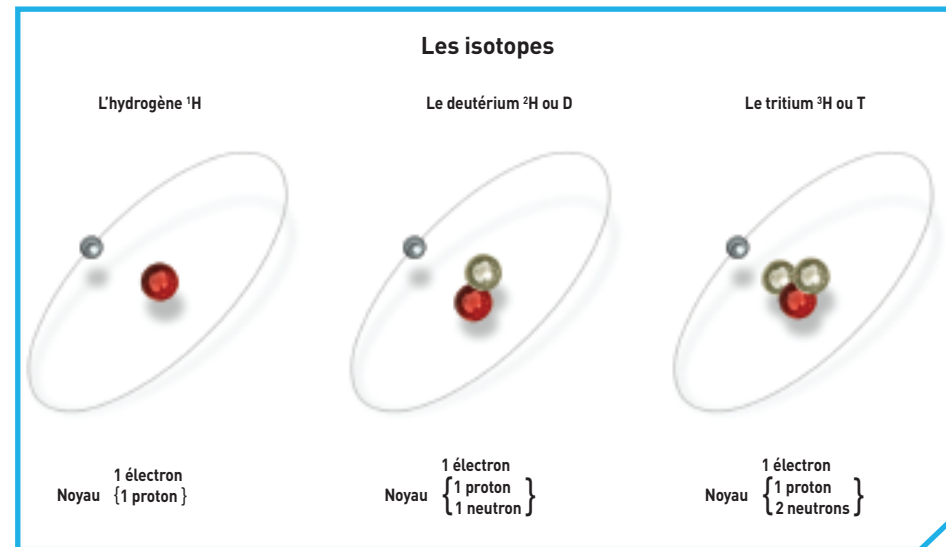
Les noyaux d'atomes radioactifs se transforment spontanément en d'autres noyaux d'atomes, radioactifs ou non. Ainsi, de noyau radioactif en noyau radioactif, l'uranium 238

tend à se transformer en une forme stable, le plomb 206. Cette transformation irréversible d'un atome radioactif en un autre atome est appelée désintégration. Elle s'accompagne d'une émission de différents types de rayonnements.

Un élément chimique peut donc avoir à la fois des **isotopes** radioactifs et des isotopes

Atomes ayant le même nombre de protons et un nombre différent de neutrons. Ils appartiennent au même élément chimique (voir livret *L'atome*). Le carbone 12 (six neutrons) et le carbone 14 (huit neutrons) sont deux isotopes du carbone.

non radioactifs. Par exemple, le carbone 12 n'est pas radioactif, alors que le carbone 14 l'est.



“Pour mesurer la radioactivité on utilise différentes unités : becquerel, gray, sievert et curie.”

La radioactivité ne concernant que le noyau et non les électrons, les propriétés chimiques des isotopes radioactifs sont les mêmes que celles des isotopes stables.

Les propriétés chimiques d'un atome sont déterminées par le nombre de ses électrons (voir livret *L'atome*).

LES MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ

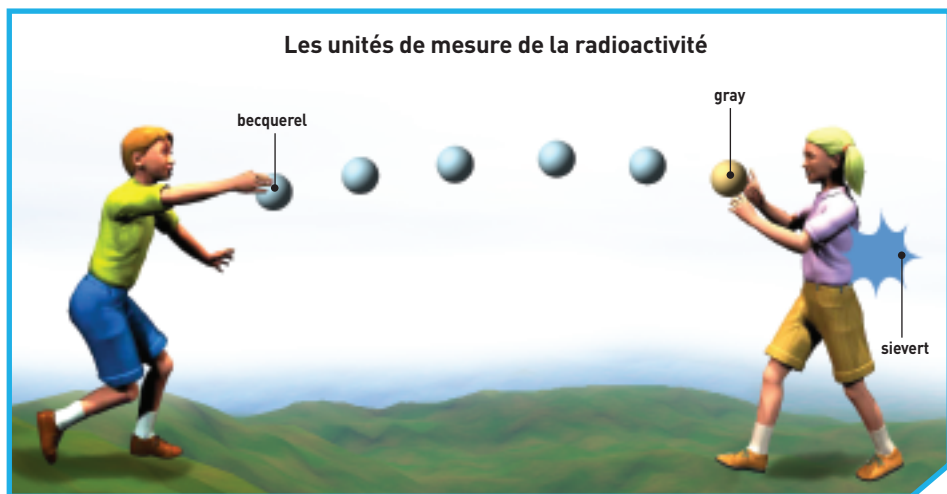
Le becquerel (Bq)

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. Cette unité est très petite. L'activité de sources radioactives s'exprimera donc le plus souvent en multiples du becquerel :

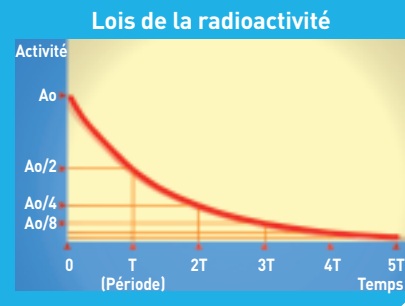
- le kilobecquerel (kBq) = 1 000 Bq,
- le mégabecquerel (MBq) = 1 million de Bq,
- le gigabecquerel (GBq) = 1 milliard de Bq,
- le térabecquerel (TBq) = 1 000 milliards de Bq.



Cette image permet de symboliser la relation entre les trois unités de mesure de la radioactivité : un enfant lance des objets en direction d'une camarade. Le nombre d'objets envoyés peut se comparer au becquerel (nombre de désintégrations par seconde) ; le nombre d'objets reçu par la camarade, au gray (dose absorbée) ; les marques laissées sur son corps selon la nature des objets, lourds ou légers, au sievert (effet produit).

DÉCROISSANCE DE L'ACTIVITÉ D'UN ÉCHANTILLON RADIOACTIF EN FONCTION DU TEMPS

1 Bq = 1 désintégration par seconde. Au fur et à mesure que les noyaux se transforment par désintégration, l'activité de l'échantillon diminue. Les lois du hasard, qui gouvernent le phénomène de la radioactivité, font qu'au bout d'un temps T appelé période, l'activité de l'échantillon a été divisée par deux. Au bout de deux périodes, il reste un quart des noyaux radioactifs d'un radioélément. Au bout de trois périodes, il reste un huitième des noyaux radioactifs d'un radioélément. Au bout de dix périodes, il reste environ un millième des noyaux radioactifs d'un radioélément.



Ces détecteurs sont extrêmement sensibles et mesurent couramment des activités un million de fois inférieures aux niveaux qui pourraient avoir des effets sur notre santé.

LA DÉCROISSANCE RADIOACTIVE

L'activité d'un échantillon radioactif diminue avec le temps du fait de la disparition progressive des noyaux instables qu'il contient. La désintégration radioactive d'un noyau donné est un phénomène aléatoire.

Le gray (Gy)

Cette unité permet de mesurer la quantité de rayonnements absorbés – ou dose absorbée – par un organisme ou un objet exposé aux rayonnements. Le gray a remplacé le rad en 1986.

- 1 gray = 100 rads = 1 joule par kilo de matière irradiée.

Le sievert (Sv)

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 courante est le millisievert, ou millième de sievert.

Le curie (Ci)

L'ancienne unité de mesure de la radioactivité est le curie (Ci). Le curie avait été défini comme l'activité de 1 gramme de radium, élément naturel que l'on trouve dans les sols avec l'uranium. Cette unité est beaucoup plus grande que le becquerel car, dans un gramme de radium, il se produit 37 milliards de désintégrations par seconde. Donc un curie est égal à 37 milliards de becquerels.

Pour détecter et mesurer les rayonnements émis par les isotopes radioactifs, on dispose de différents types de détecteurs parmi lesquels les tubes compteurs à gaz (compteur proportionnel, Geiger-Müller, chambre d'ionisation), les scintillateurs couplés à des photomultiplicateurs, les semi-conducteurs (silicium, germanium...).

“Selon les noyaux, la radioactivité dure quelques secondes, plusieurs jours ou des milliards d’années.”

PÉRIODES DE QUELQUES CORPS RADIOACTIFS

ÉLÉMENTS CHIMIQUES	PÉRIODE RADIOACTIVE	ORIGINE	PRÉSENCE	EXEMPLES D'UTILISATION
Tritium	12,3 ans	Artificielle	–	Fusion thermonucléaire Marquage biologique
Carbone 11	20,4 minutes	Artificielle	–	Imagerie médicale
Carbone 14	5 730 ans	Naturelle	Atmosphère Composés carbonés	Datation
Oxygène 15	2,02 minutes	Artificielle	–	Imagerie médicale
Phosphore 32	14,3 jours	Artificielle	–	Recherche en biologie
Soufre 35	87,4 jours	Artificielle	–	Recherche en biologie
Potassium 40	1,3 milliard d’années	Naturelle	Roches riches en potassium, squelette	–
Cobalt 60	5,27 ans	Artificielle	–	Radiothérapie Irradiation industrielle Gammagraphie
Strontium 90	28,8 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Jauges d'épaisseur
Iode 123	13,2 heures	Artificielle	–	Médecine nucléaire
Iode 131	8,05 jours	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	–
Césium 137	30,2 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Curiethérapie
Thallium 201	3,04 jours	Artificielle	–	Médecine nucléaire
Radon 222	3,82 jours	Naturelle	Gaz s'échappant des roches granitiques	–
Radium 226	1 600 ans	Naturelle	Roches terrestres contenant de l'uranium	–
Thorium 232	14 milliards d’années	Naturelle	–	Datation des minéraux Combustible potentiel
Uranium 235	704 millions d’années	Naturelle	Certaines roches terrestres Roches granitiques	Dissuasion nucléaire Combustible
Uranium 238	4,47 milliards d’années	Naturelle	Certaines roches terrestres Roches granitiques	Combustible dans les réacteurs à neutrons rapides
Plutonium 239	24 100 ans	Artificielle	Produit des réacteurs nucléaires	Dissuasion nucléaire Combustible

On peut cependant donner pour chaque isotope radioactif une période radioactive ou demi-vie qui est le temps au bout duquel la moitié des atomes radioactifs initialement présents a disparu par transformation spontanée.

Selon les noyaux radioactifs concernés, cette période est très variable: quelques secondes, heures... plusieurs jours... centaines d’années... ou milliards d’années.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE DÉSINTÉGRATIONS

Radioactivité alpha

Le rayonnement alpha est constitué d’un noyau d’hélium comprenant 2 protons et 2 neutrons. Il porte 2 charges positives.

Des atomes dont les noyaux radioactifs sont trop chargés en protons et en neutrons émettent souvent un rayonnement alpha. Ils se transforment en un autre élément chimique dont le noyau est plus léger. Par exemple, l’uranium 238 est radioactif alpha et se transforme en thorium 234.

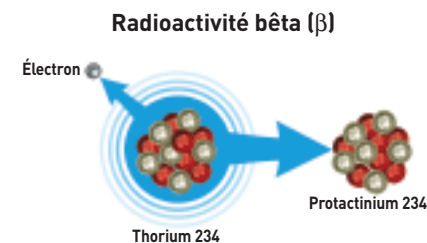


Radioactivité bêta moins

Le rayonnement bêta moins est constitué d’un électron chargé négativement.

Certains atomes dont les noyaux sont trop chargés en neutrons émettent un rayonnement bêta moins. Un des neutrons au sein du noyau se désintègre en un proton plus un électron, ce dernier étant éjecté. Ainsi l’atome s’est transformé en un autre élément chimique.

Par exemple, le thorium 234 est radioactif bêta moins et se transforme en protactinium 234.



“La radioactivité se mesure au nombre de désintégrations par seconde au sein d’un échantillon.”

Radioactivité bêta plus

Le rayonnement bêta plus est constitué d'un positon (particule de même masse que l'électron mais chargée positivement).

Certains atomes dont les noyaux sont trop chargés en protons émettent un rayonnement bêta plus. Un des protons au sein du noyau se désintègre en un neutron plus un positon, ce dernier étant éjecté. Ainsi l'atome s'est transformé en un autre élément chimique. Par exemple, l'iode 122 est un radioactif bêta plus et se transforme en tellure 122. Notons que pour les deux types de désintégration bêta, le noyau garde le même nombre de nucléons (donc la même masse atomique).

La radioactivité gamma

Le rayonnement gamma est une onde électromagnétique comme la lumière visible ou les rayons X mais plus énergétique.

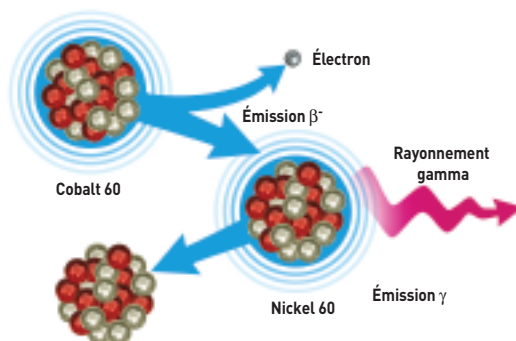
Ce rayonnement suit souvent une désintégration alpha ou bêta. Après émission de la particule alpha ou bêta, le noyau est encore excité car ses protons et ses neutrons n'ont pas trouvé leur équilibre. Il se libère alors rapidement d'un trop-plein d'énergie par émission d'un rayonnement gamma. C'est la radioactivité gamma. Par exemple, le cobalt 60 se transforme par désintégration bêta en nickel 60 qui atteint un état stable en émettant un rayonnement gamma.

La babyline est un appareil très sensible aux rayonnements qui est utilisé lors du contrôle de déchets.



© CEVA, Gomin

Le rayonnement gamma (γ)



NATURELLE OU ARTIFICIELLE,
LA RADIOACTIVITÉ EST PRÉSENTE PARTOUT.

Les origines des radioéléments



© PhotoDisc

LES RADIO-ISOTOPES NATURELS

Lors de la formation de la Terre, il y a environ 5 milliards d'années, la matière comprenait des atomes stables et instables. Mais depuis, la majorité des atomes instables se sont désintégrés par radioactivité et la plupart d'entre eux ont fini par atteindre la stabilité. Cependant, il existe toujours quelques atomes radioactifs naturels :

“La radioactivité naturelle provient des radioéléments produits dans les étoiles il y a des milliards d'années.”

- les radio-isotopes caractérisés par une très longue demi-vie comme l'uranium 238 (4,5 milliards d'années) et le potassium 40 (1,3 milliard d'années). Ils n'ont pas encore eu le temps de tous se désintégrer depuis qu'ils ont été créés ;
- les descendants radioactifs des précédents comme le radium 226 qui est en permanence régénéré après désintégration de l'uranium 238. Le radium 226 se transforme lentement en un gaz lui-même radioactif, le radon 222 ;
- les radio-isotopes créés par l'action des rayonnements cosmiques sur certains noyaux d'atomes. C'est le cas, par exemple, du carbone 14 qui se forme en permanence dans l'atmosphère.

Les rayonnements cosmiques nous parviennent sans arrêt de l'Univers et sont parfois très énergétiques (voir livret *L'homme et les rayonnements*).

QUELQUES EXEMPLES D'ACTIVITÉ D'ÉCHANTILLONS RADIOACTIFS DE NOTRE ENVIRONNEMENT

- Le granite: 1 000 becquerels par kg.
- Le corps humain: un individu de 70 kg a une activité de l'ordre de 8 000 becquerels dont environ 5 000 becquerels dus au potassium 40 (dans les os).
- Le lait: 80 becquerels par litre.
- L'eau de mer: 10 becquerels par litre.



© PhotoDisc

LES RADIO-ISOTOPES ARTIFICIELS

La production de radio-isotopes artificiels se fait au moyen d'un cyclotron ou d'un réacteur nucléaire et permet de nombreuses applications. Certains radio-isotopes (cobalt 60, iridium 192...) peuvent être utilisés comme source de rayonnements pour des radiographies gamma (ou gammagraphies) ou comme source d'irradiation pour la radiothérapie ou pour des applications industrielles. De telles sources sont couramment utilisées en médecine et dans l'industrie (voir livret *L'homme et les rayonnements*). D'autres radio-isotopes artificiels sont créés dans les réacteurs nucléaires (strontium 90, césium 137...). Certains ne sont pas utilisés par l'homme. Ils constituent ce que l'on appelle les déchets nucléaires. Fortement radioactifs, ils doivent être stockés sous haute surveillance et isolés de l'homme (voir livret *Le cycle du combustible*).

Ces radio-isotopes naturels sont présents sur toute la planète, dans l'atmosphère (carbone 14, radon 222), dans la croûte terrestre (uranium 238 et uranium 235, radium 226...) et dans notre alimentation (potassium 40). Voilà pourquoi tout ce qui nous entoure est radioactif. Depuis l'aube des temps, la Terre et les êtres vivants sont donc plongés dans un véritable bain de radioactivité. Ce n'est que récemment (à peine plus de cent ans) que l'homme a découvert avec les travaux d'Henri Becquerel qu'il avait toujours vécu dans cette ambiance.



© RMN-H. Lewandowski

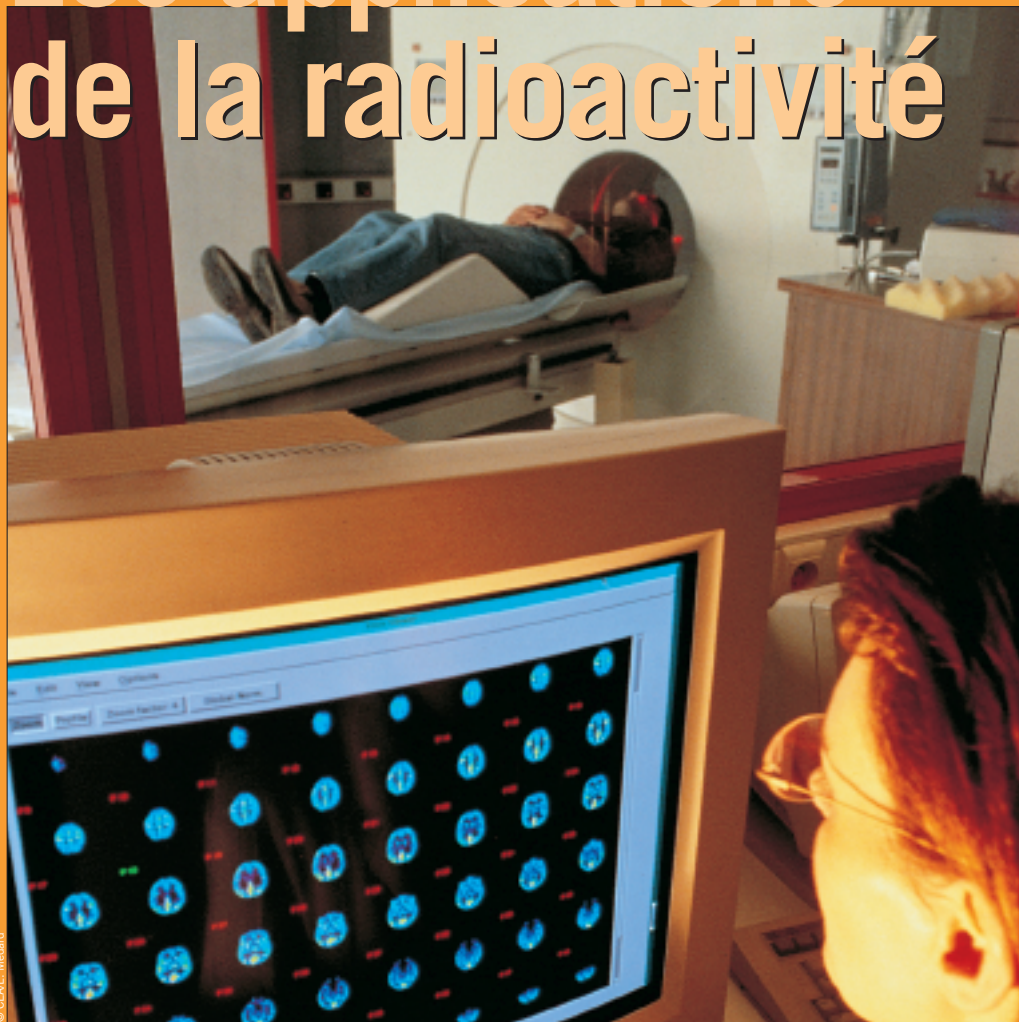
© CEA

Aphrodite accroupie, exposée au département des antiquités grecques, étrusques et romaines du musée du Louvre. La gammagraphie a permis de mettre en évidence les consolidations antérieures de cette statue de marbre et de situer avec précision inserts métalliques et cavités.

“Pour les besoins de la médecine ou de l'industrie, l'homme crée de la radioactivité artificielle.”

LA RADIOACTIVITÉ EST UN MOYEN
EXTRAORDINAIRE POUR EXPLORER L'ÊTRE
HUMAIN ET L'ENVIRONNEMENT.

Les applications de la radioactivité



© CEA, Méliand

“Grâce aux rayonne-
ments radioactifs,
il est possible
de suivre à la trace
le déplacement d'une
espèce chimique
dans le corps humain.”

LES TRACEURS RADIOACTIFS

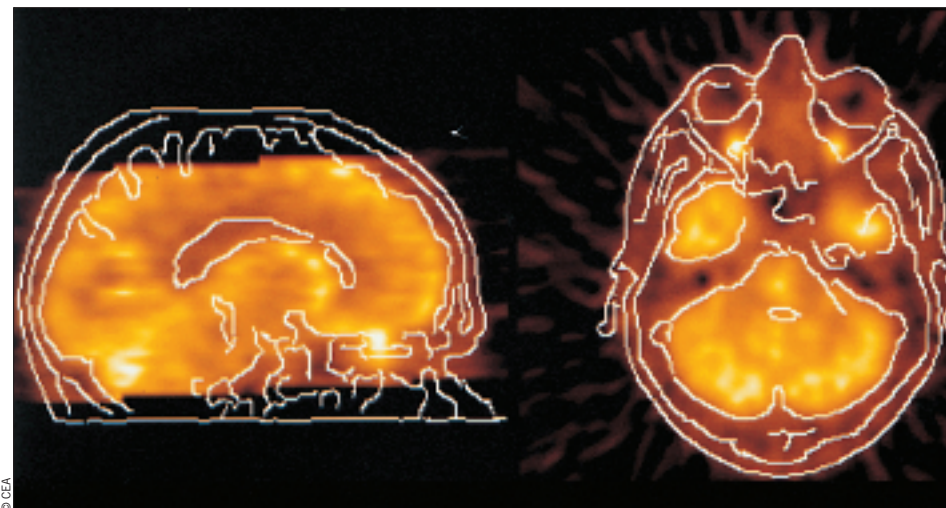
Principe

Les propriétés chimiques d'un isotope radioactif sont identiques à celles d'un isotope stable, à la seule différence que le radio-isotope est instable. Cette instabilité provoque la désintégration qui se traduit par l'émission de rayonnements. Il suffit alors de disposer d'outils de détection appropriés pour suivre à la trace ces radio-isotopes. Par exemple, le potassium 40 qui est mélangé au potassium stable dans notre alimentation va suivre exactement le même trajet dans notre corps que ses isotopes stables. La détection des rayonnements émis par le potassium 40 permet alors de suivre à la trace le

déplacement de l'ensemble du potassium. **Un radio-isotope peut donc servir de traceur à l'aide d'outils de détection appropriés.**

Il est aussi possible de connaître la localisation d'une molécule par le même principe. Cette dernière est marquée par **un radio-isotope qui lui sert d'étiquette**. Le marquage peut être effectué de deux manières : remplacement d'un atome de la molécule par un de ses isotopes radioactifs ou accrochage à la molécule d'un atome radioactif. La molécule marquée est alors un **traceur**.

Images du cerveau réalisées grâce à des traceurs.



© CEA

Injection de traceurs, utilisés dans l'imagerie médicale.



On utilise cette méthode en médecine pour suivre l'action d'un médicament, par exemple, ou bien dans l'étude du déplacement de produits dans l'environnement... Il faut bien noter que dans ces cas précis, le traceur est utilisé en très petites quantités qui sont bien suffisantes car les appareils de détection des rayonnements sont très sensibles. Les effets des rayonnements radioactifs ne sont ainsi pas dangereux à ces très faibles doses (voir livret *L'homme et les rayonnements*). De plus, **la période de ces isotopes est courte** (de quelques minutes à quelques jours) et ils disparaissent très rapidement de notre corps ou de notre environnement.

Applications des traceurs en médecine

Les possibilités offertes par les applications des traceurs et de la radioactivité en recherche biologique et en médecine ont été l'un des facteurs essentiels du progrès médical au cours du XX^e siècle.

Ainsi, par exemple, des isotopes ont permis, à Avery en 1943, de montrer que l'ADN était le support de l'hérédité. Dans les années qui ont suivi, ils ont conduit à l'avènement de la biologie moléculaire avec la détermination du code génétique, la caractérisation des réactions chimiques assurant le fonctionnement cellulaire ou encore la compréhension des mécanismes énergétiques. Par ailleurs, des techniques utilisant la radioactivité élargissent les possibilités **de diagnostic pour détecter et mieux guérir les maladies : c'est la médecine nucléaire**. Au lieu de faire passer

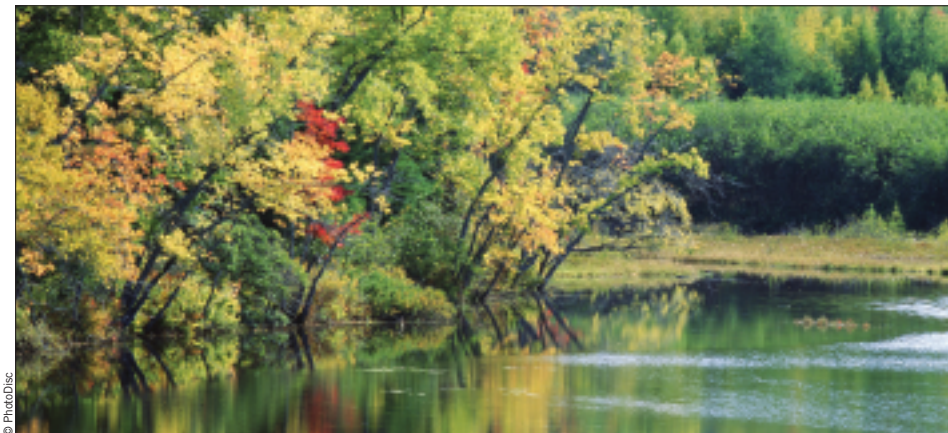
“La radioactivité a favorisé la recherche biologique et les progrès de la médecine tout au long du XX^e siècle.”

les rayonnements à travers l'ensemble du corps comme dans la radiographie, on introduit dans l'organisme une petite quantité de produit marqué par un radio-isotope émetteur de rayonnements gamma ou de rayonnements bêta plus donnant ensuite des rayonnements gamma. Ce produit reconnaîtra certaines cellules de l'organisme et indiquera si elles fonctionnent correctement. Par exemple, le thallium 201 permet d'observer directement le fonctionnement du cœur et de voir s'il présente des signes de faiblesse.

D'autres types d'examen détecteront la présence de tumeurs dans les os.

Les chercheurs utilisent aussi la médecine nucléaire pour comprendre le fonctionnement

Radio-isotopes naturels ou artificiels constituent des traceurs utilisés, entre autres choses, pour suivre la progression de masses d'air ou d'eau...



des organes. Par exemple, pour le cerveau, les techniques mises en œuvre permettent d'observer directement les parties de celui-ci impliquées dans la vision, la mémorisation, l'apprentissage des langues ou le calcul mental. En recherche, le marquage d'une molécule (médicaments, produits énergétiques...) permet de suivre son devenir dans la cellule ou dans l'organisme. Cela permet de concevoir des médicaments.

Applications des traceurs pour l'étude de l'environnement

La mesure de l'absorption du rayonnement émis par une très petite source permet de **mesurer la densité du milieu traversé**. On peut ainsi suivre en continu la teneur de matières en suspension dans l'eau d'un fleuve comme

Les traceurs sont utilisés dans le milieu industriel, notamment pétrochimique.



© Getty



© Getty

le Rhône et réguler la purge de son barrage, de façon à ne pas dépasser le niveau qui mettrait en péril la faune et la flore du fleuve.

Mais on peut également, **en marquant un sédiment ou un polluant avec un radio-isotope**, le suivre à la trace. Cela permet d'optimiser des tracés de routes ou d'autoroutes pour minimiser les risques de pollution, ou de contrôler si les sites de stockage des déchets n'ont pas d'infiltration dans le sol.

Les chercheurs utilisent aussi le déplacement de radio-isotopes naturels ou artificiels pour suivre, par exemple, le déplacement de masses d'air, de masses d'eau...

Applications des traceurs dans l'industrie

L'industrie utilise de nombreux réacteurs complexes et aux parois opaques. Les traceurs

MARQUAGE AU PROFIT DE LA PRODUCTION INDUSTRIELLE

L'injection de traceurs dans un réacteur industriel doit être aussi brève que possible pour que la fonction enregistrée aux points de mesures choisis puisse être considérée comme une Distribution des Temps de Séjour (DTS) de la phase marquée.

De cette DTS, on peut en déduire les paramètres de transfert de la phase marquée dans le système tels que vitesse d'écoulement, débit, volume mort, courts-circuits...

Ces mesures permettent d'optimiser la production en économisant de la matière première et en diminuant les rejets dans l'environnement.

Bison de la grotte ornée de Niaux (Ariège) dessiné il y a 13 000 ans. Datation directe de la fresque par le carbone 14.



© CEA

radioactifs peuvent être détectés à travers ces parois. Ils permettent d'étudier le comportement de fluides à l'intérieur de ces réacteurs. Les industries concernées sont multiples : la chimie, le pétrole et la pétrochimie, la fabrication de ciment, d'engrais, de pâte à papier, de chlore, de soude, d'explosifs, la métallurgie, l'énergie... L'opération consiste à marquer une fine tranche de matière à l'entrée de l'appareil à étudier et à observer en différents endroits la courbe de restitution de la concentration du traceur en fonction du temps (voir encadré).

LA DATATION

Certains éléments radioactifs naturels constituent de véritables chronomètres pour remonter dans le temps. Des méthodes de datation ont été mises au point, fondées sur la décroissance de la radioactivité contenue dans les objets ou vestiges étudiés.

On peut ainsi remonter jusqu'à des dizaines de milliers d'années dans le passé avec le carbone 14, voire bien davantage avec d'autres méthodes telles que la thermoluminescence ou la méthode uranium-thorium.

La datation au carbone 14 permet d'aborder l'étude de l'histoire de l'Homme et de son environnement pendant la période de 5 000 à 50 000 ans avant le temps présent.

Le carbone est très répandu dans notre environnement et, en particulier, il entre dans la

constitution de la molécule de gaz carbonique présente dans l'atmosphère. Ce carbone est constitué principalement de carbone 12. Cependant, une petite proportion de carbone 14 radioactif se trouve à l'état naturel. Le rapport carbone 14/carbone 12 est équilibré entre l'atmosphère et le monde du vivant (animal, végétal...) durant toute la vie de chaque individu grâce aux échanges nécessaires à celle-ci (respiration, photosynthèse et alimentation).

Après la mort d'un organisme, le carbone 14 n'est plus renouvelé par un échange avec le monde extérieur. Sa proportion diminue dans les organismes car il se désintègre petit à petit. La mesure du rapport carbone 14/carbone 12 permet donc de dater la mort. Moins il reste de carbone 14 dans le fossile à dater, plus la mort est ancienne.

“La radioactivité est utilisée pour dater des vestiges de l'histoire ou de la préhistoire.”