



# La face obscure de la matière

**Quand elle est naturelle**, la radioactivité trouve son origine dans la façon dont la matière s'est constituée dans l'Univers. Une fabrication qui a nécessité trois creusets : la chaleur du big bang, le cœur des étoiles, puis les explosions cataclysmiques que sont les supernovae.

Jean-Marc Bonnet-Bidaud  
Astrophysicien au CEA

Radiations, uranium, becquerel, sievert... un ballet de termes assez peu compréhensibles recouvre une réalité invisible... et parfois dangereuse. Pour comprendre ce qu'est la radioactivité, il nous faut explorer la genèse de la matière.

**L**ORS de vacances au bord d'une plage dans la chaleur de l'été, chacun d'entre nous sait qu'exposé aux rayonnements du Soleil, il subit une irradiation. Le flux solaire pénètre la peau et, si l'exposition se prolonge, les premières conséquences apparaissent avec le fameux coup de soleil. Cette réaction de l'organisme signale les effets nocifs d'une partie infime du rayonnement solaire, les ultraviolets. La peau, fragile barrière, est un élément essentiel de l'adaptation de l'homme aux radiations solaires. Pourtant, une exposition répétée ou excessive finit par provoquer des lésions irréversibles de l'épiderme, avec apparition de cancers cutanés. Même une irradiation faible et naturelle peut donc devenir dangereuse. À l'autre bout de l'échelle, l'humanité reste hantée par les radiations massives déversées sur les populations civiles par les bombes d'Hiroshima et de Nagasaki. Les accidents de Tchernobyl ou plus récemment de Fukushima nous ramènent qu'on le veuille ou non au même contexte. Radiations, radioactivité, uranium, plutonium, contamination, becquerel, sievert... un ballet de termes assez peu compréhensibles recouvre une réalité paradoxalement invisible. Aucune odeur ou sensation n'avertit l'être humain des dangers de la radioactivité.

Si sa peau lui permet de "sentir" les ultraviolets, il n'existe pas de sixième sens pour la radioactivité. La technologie moderne semble donc réintroduire dans la nature un danger incontrôlable. Les effets sont présentés selon les cas comme relativement anodins ou au contraire dramatiquement dangereux. Quel est le véritable statut de ces radiations artificielles ? Comment s'inscrivent-elles dans l'histoire de la Terre ? Il nous faut tout d'abord convoquer l'astrophysique et l'histoire de l'Univers.

La radioactivité est une anomalie de la nature. Elle provient d'un état d'instabilité de la matière étroitement lié aux conditions de son apparition dans l'Univers. La matière — sous la forme des éléments chimiques que nous connaissons, hydrogène, oxygène, fer, etc. — est constituée d'un assemblage de particules élémentaires, protons et neutrons, compactées dans un noyau atomique. Le nombre de protons fixe la nature chimique

de l'élément, et c'est ainsi que sont rangés tous les atomes dans la célèbre classification de Mendeleïev. L'élément le plus léger est l'hydrogène, avec un seul proton, et le plus élevé a longtemps été l'uranium, avec 92 protons. Aujourd'hui, cette place est tenue par l'ununoctium (118 protons), synthétisé artificiellement en 2006.

Par symétrie, la nature associe le plus souvent un nombre égal de neutrons et de protons dans le même noyau, mais il arrive que cette proportion varie. Un élément chimique peut alors exister sous plusieurs versions au nombre de protons constant, mais avec un nombre variable de neutrons. Identiques chimiquement, mais différentes physiquement, ces variantes sont nommées "isotopes". Même s'il existe seulement une centaine d'éléments chimiques dans la nature, on compte un nombre bien plus grand de variétés de noyaux atomiques.

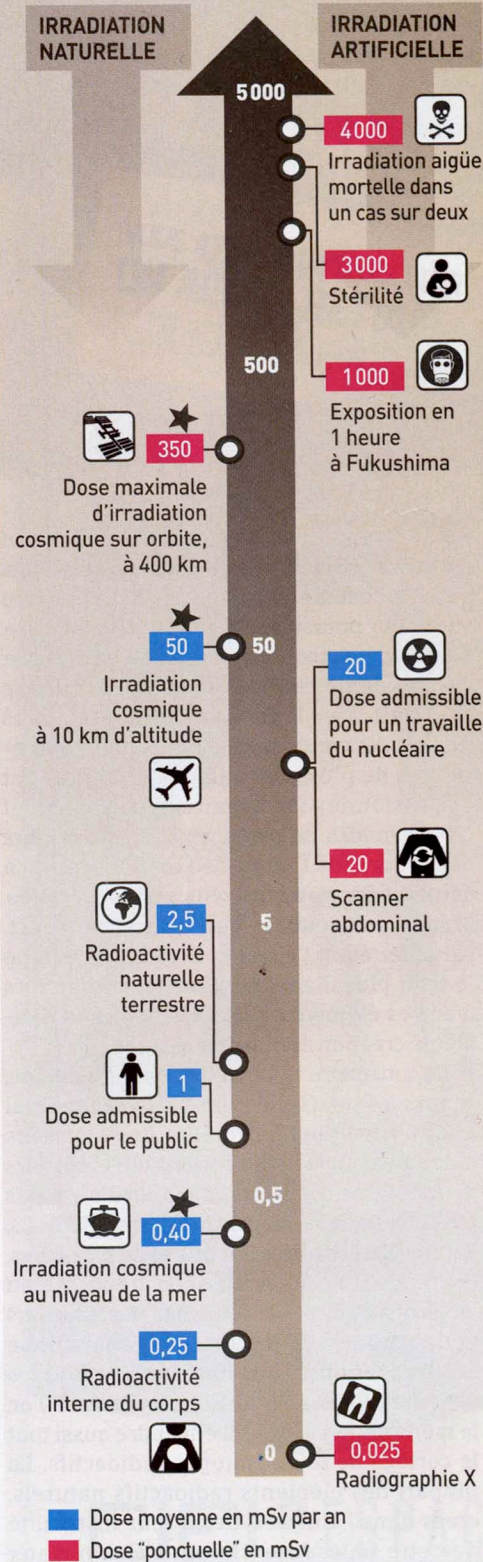
La nature a visiblement favorisé la simplicité, car les noyaux stables sont ceux qui, au moins pour les plus légers, contiennent le même nombre de neutrons et de protons. Ils constituent la forme pérenne de la matière. En revanche, si le noyau contient un nombre de neutrons trop important ou trop faible par rapport aux protons, l'assemblage est instable. Ces noyaux difformes ne subsistent que de façon transitoire, avant de se désintégrer en libérant de l'énergie. La radioactivité provient de cette décomposition spontanée, accompagnée d'une irradiation sous forme de particules ou de rayonnements.

Les éléments radioactifs sont donc la face sombre de la matière. Leur durée de vie est souvent mesurée par leur demi-vie : le temps au bout duquel leur nombre est divisé par deux. Cette durée de vie est extrêmement variable d'un élément à l'autre, allant de la fraction de seconde au milliard d'années. Ainsi, le thorium 232 a une demi-vie de 14 milliards d'années, soit l'âge de l'Univers, et d'autres comme le tellurium 128, encore bien supérieure ! Comment ces éléments instables, mais parfois aussi persistants, sont-ils apparus ?

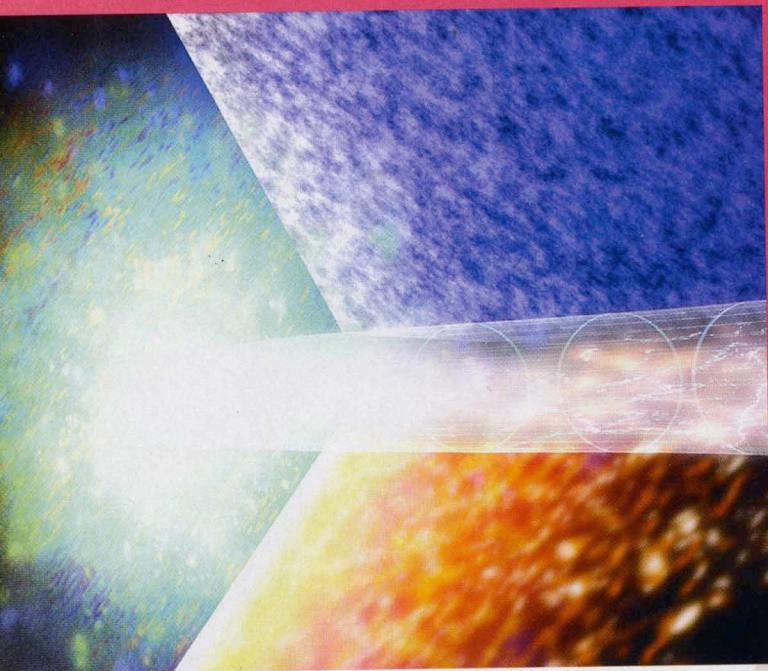
La matière dans l'Univers n'est pas apparue dans un seul et même creuset. Dans le cadre du big bang, la fournaise qui prévalait au début de l'expansion était théoriquement suffisante pour coller ensemble protons et neutrons et échafauder l'ensemble de la classification de Mendeleïev, de l'hydrogène à l'uranium. Mais les choses ne se sont pas passées ainsi, car le cosmos a été pris de vitesse par l'expansion. Aussi chaud qu'ait été l'Univers à ses débuts, l'expansion a entraîné un trop rapide refroidissement. Si bien qu'à

## L'échelle des doses

L'irradiation sur Terre résulte de l'exposition à des rayonnements et particules, qui sont soit d'origine radioactive, soit d'origine cosmique (étoiles).



## Les trois creusets de la matière



peine formés l'hélium et des traces des tout premiers éléments légers (lithium, béryllium, bore), le chaudron cosmique était devenu trop froid pour poursuivre la genèse de la matière. La première création du monde a été avortée. La deuxième chance est venue beaucoup plus tard, avec la formation des premières étoiles. Au cœur de ces astres, des températures de plusieurs millions de degrés ont fait fusionner les noyaux d'hydrogène et d'hélium afin de produire par étapes ceux du carbone, de l'azote, de l'oxygène, jusqu'à ceux du fer pour les plus grosses étoiles. Mais, à nouveau, la genèse tourne court, car le fer étant l'élément le plus stable, il ne fournit plus d'énergie pour fusionner vers d'autres éléments. Encore une fois, la deuxième création était tronquée. Pour construire toute la diversité du monde, ce sont les cataclysmes les plus violents qu'il a fallu invoquer. La totalité des éléments chimiques au-delà du fer ont été créés lors d'explosions d'étoiles. La matière n'y a pas été détruite, mais au contraire enrichie. Mais, dans ce maelstrom d'énergie et de particules, la création n'est pas aussi ordonnée qu'au cœur des étoiles. L'assemblage des neutrons et des protons se fait de façon anarchique et s'il aboutit bien à la formation de tous les éléments stables au-delà du fer comme l'or, le mercure, le plomb... il engendre aussi tout le cortège de leurs isotopes radioactifs. La plupart des éléments radioactifs naturels, créés dans l'Univers, tirent leur instabilité de cette naissance violente. Ces noyaux

ont piégé un excès d'énergie qu'ils vont ensuite relâcher inlassablement par petites doses sous forme de rayonnements nocifs. Éros et Thanatos : vie et mort, la même explosion d'étoile qui a nourri l'Univers des briques de la vie a aussi engendré une matière tueuse capable de la supprimer. Heureusement, la nature corrige vite ses erreurs. Sur plus de 2500 isotopes radioac-

### La même explosion d'étoile a créé les briques de la vie et la matière capable de la supprimer

tifs que peut créer une explosion stellaire, un tiers seulement a une durée de vie supérieure à 1 heure. La grande majorité disparaît donc aussitôt créée. En revanche, une fraction de ces isotopes a une durée de vie très longue. Une fois formés, ils sont presque indestructibles et continuent d'émettre leurs radiations pendant des milliards d'années, jusqu'à se retrouver un jour sur une planète ! À sa formation, la Terre était hautement radioactive à cause de ces éléments, mais son activité a fortement décliné. Il est indiscutable que la radioactivité soit naturelle et que l'homme vive en permanence dans un bain de cette matière instable résiduelle, mais tout est affaire de concentration. Si la vie existe aujourd'hui, c'est justement parce que la concentration naturelle est devenue tolérable. Ainsi, le corps humain incorpore bien dans sa composition une fraction de

radioactivité, principalement sous forme de potassium et de carbone. Cette singularité est souvent invoquée avec mauvaise foi, et il faut le dire un certain cynisme pour tenter de démontrer l'innocuité de la radioactivité. En réalité, cette activité est ridiculement faible et sans commune mesure avec la radioactivité artificielle. Il faudrait par exemple réunir un demi-milliard d'êtres humains pour atteindre la radioactivité d'un seul gramme d'une substance radioactive pure comme le plutonium 241 !

La technologie nucléaire consiste à fabriquer et concentrer à nouveau une radioactivité que la nature a mis des milliards d'années à faire disparaître. Vue à l'échelle de l'histoire de la Terre, l'évolution est saisissante. Avant 1945, le plutonium n'existait plus dans la nature, il s'était auto-éliminé par désintégration. Aujourd'hui, il existe déjà plus de 1000 tonnes de ce poison absolu<sup>(1)</sup>, une accumulation qui continue de croître d'au moins 70 tonnes par an. Et pour l'éliminer, il n'existe aujourd'hui aucune méthode connue, sauf à attendre sa désintégration naturelle à 99,9 %, au bout d'une dizaine de demi-vies, soit 240 000 ans ! Quels risques supplémentaires, la concentration de matière radioactive fait-elle courir à la vie ? Là aussi, les conceptions varient selon que l'on souhaite minimiser ou souligner les conséquences. En réalité, deux unités quantifient la radioactivité d'un élément



Toute la variété des éléments chimiques s'est créée par étapes successives. À gauche : la fournaise née du big bang a donné les éléments les plus légers. Le cœur des étoiles (au centre, l'étoile Albiréo), puis leur fin explosive (ci-contre, le vestige de supernova G1.9+0.3) sont les deux autres chaudrons cosmiques de la matière.

et ses effets sur le vivant : le becquerel, qui mesure le nombre de désintégrations d'un atome par seconde, et le sievert, qui évalue les doses absorbées par l'organisme en fonction des différents types de rayonnements.

L'échelle naturelle des risques nous est donnée par la radioactivité naturelle, celle qui subsiste du passé. On estime aujourd'hui qu'un homme à la surface de la Terre est soumis par des causes naturelles à une dose moyenne d'exposition de 2,5 millisieverts (mSv) par an, la moitié de cette dose étant dû au seul radon, un gaz radioactif emprisonné dans les roches granitiques et récréé constamment par la désintégration du radium, lui-même provenant de la lente décomposition de l'uranium. Le reste de la dose naturelle est due pour 30 % à la faible radioactivité portée par l'eau, les aliments et notre propre corps, notamment à cause de la présence du potassium 40, dont la demi-vie est de 1,25 milliard d'années, et pour 20 % provient de l'exposition aux ultraviolets et particules cosmiques qui parviennent à traverser l'atmosphère.

À cela s'ajoutent toutes les sources artificielles d'exposition, estimées en général à 1,5 mSv/an, et qui regroupent examens médicaux et exposition industrielle. Cette dose

est évidemment variable selon les cas. Pour les examens comme le scanner qui utilisent les rayons X, des mises en garde viennent d'être édictées, car la dose peut atteindre 20 à 30 mSv pour un seul scanner abdominal, un examen dont la répétition doit donc être évitée ! La Commission internationale de la protection radiologique (ICRP) a fixé en 1996 la dose totale admissible sans danger pour le public à 1 mSv/an, hors causes naturelles.

Quel est le réel impact de la radioactivité sur la santé ? Les effets des radiations affectent toute l'échelle du vivant depuis les plantes, insectes, poissons, jusqu'aux mammifères et aux humains. Le mécanisme est toujours le même : la substance radioactive émet un rayonnement ou une particule qui pénètre plus ou moins profondément dans l'organisme selon sa nature et vient déposer son énergie au cœur même des cellules. Elle affecte particulièrement les molécules complexes comme l'ADN, qui contient le code génétique, et qu'elle parvient à briser, dérégulant ainsi toute la programmation du vivant. Le corps possède des capacités de réparation, sans doute acquise au cours de l'évolution au contact de la radioactivité naturelle. Mais si la dose est trop forte ou si elle est répétée, ces capacités réparatrices sont saturées et ne parviennent plus à préserver le développement normal des cellules entraînant leur prolifération sous forme de cancers. ●

(1) Hors stocks militaires, inconnus car ils sont couverts par le secret défense.

**Une radioactivité naturelle due pour moitié à la lente décomposition de l'uranium**

**800 PODCASTS**

**260 h d'émissions**

**VOUS AVEZ DE QUOI OCCUPER UN ALLER-RETOUR SUR LA LUNE**



**CIELE & ESPACE RADIO**

[www.cieletespaceradio.fr](http://www.cieletespaceradio.fr)