

LE RAYONNEMENT COSMIQUE ET NEUTRONIQUE PARTIE 1 : LE RAYONNEMENT COSMIQUE

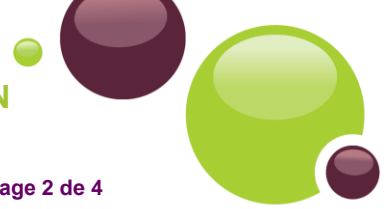
Le rayonnement cosmique, aussi appelé « **rayons cosmiques** », se compose de particules de haute énergie provenant de l'espace lointain (le « cosmos ») et de notre propre système solaire. Le terme « rayon » a été retenu à l'origine pour désigner ces particules, car on croyait qu'il s'agissait d'une forme de rayonnement électromagnétique (voir le document d'information [Le rayonnement et l'exploration spatiale habitée](#)), mais ce sont en fait des particules.

LES RAYONS COSMIQUES PRIMAIRES

Pratiquement toutes les particules cosmiques primaires (environ 99 %) sont des nucléons (composants des noyaux atomiques), les autres étant des électrons libres (similaires aux particules bêta – voir le document d'information [Le rayonnement et l'exploration spatiale habitée](#)). La plupart des nucléons sont des protons (c.-à-d. des noyaux d'hydrogène) et des noyaux d'hélium (similaires aux particules alpha – voir le document d'information [Le rayonnement et l'exploration spatiale habitée](#)). Les nucléons d'autres éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium entrent aussi dans la composition des rayons cosmiques. Ces particules à nombre atomique élevé et à haute énergie sont appelées « **ions lourds cosmiques** ».

Les rayons cosmiques primaires sont émis par différentes sources, notamment les éruptions solaires et les explosions sur notre propre Soleil (ces particules sont souvent appelées « **particules énergétiques solaires** ») et les explosions d'étoiles, comme les **novas** et les **supernovas**, qui proviennent principalement de l'intérieur de notre galaxie, mais peuvent aussi provenir d'autres galaxies (ces particules sont appelées « **rayons cosmiques galactiques** »). Les rayons cosmiques galactiques sont à l'origine des particules éjectées du nuage de gaz en expansion et du champ magnétique causés par une explosion stellaire. Ils rebondissent généralement dans le champ magnétique et certains finissent par acquérir assez d'énergie pour devenir des rayons cosmiques et s'échapper dans la galaxie. Ces particules continuent d'accélérer et certaines atteignent presque la vitesse de la lumière.

En raison de leur grande vitesse et leur haute énergie, les particules cosmiques primaires sont très dangereuses pour les personnes et pour les appareils. Sur la Terre, et dans une certaine mesure en orbite terrestre basse, nous sommes protégés contre les rayons cosmiques primaires par la **magnétosphère** (champ magnétique) et l'atmosphère de la Terre. Toutefois, puisque les astronautes se rendent loin de la Terre (par exemple jusqu'à la Lune, jusqu'à Mars ou jusqu'aux astéroïdes), ils n'ont plus cette protection et sont par conséquent directement exposés à ces particules. Les **ions lourds cosmiques** sont particulièrement dangereux parce qu'ils sont fortement chargés et très énergétiques. Ces particules peuvent pénétrer d'épaisses couches de blindage et de tissu humain et ainsi provoquer une rupture des brins d'ADN, endommager des gènes et détruire des cellules (voir le document d'information [Les effets du rayonnement sur les cellules et l'ADN](#)).



LES RAYONS COSMIQUES SECONDAIRES

Lorsque des rayons cosmiques primaires entrent en collision avec des particules ou une autre matière, par exemple un vaisseau spatial, la Station spatiale internationale ou des molécules dans notre atmosphère, ils peuvent fractionner des molécules et provoquer ainsi la formation de **particules cosmiques secondaires**. Par exemple, au moment de pénétrer dans l'atmosphère terrestre, les rayons cosmiques primaires entrent en collision avec des molécules de gaz, principalement de l'oxygène et de l'azote, ce qui fait éclater les noyaux des gaz en plus petits fragments (processus appelé « **spallation** »). Cet éclatement provoque une cascade de particules ionisées et de rayonnement électromagnétique, appelée « **gerbe cosmique** », dans la direction vers laquelle les particules primaires se déplaçaient.

Les particules cosmiques secondaires sont généralement des protons, des neutrons, des **pions** (au long « **mésons pi** » – type de particules subatomiques) positifs et négatifs ainsi que des **kaons** (au long « **mésons K** » – autre type de particules subatomiques) positifs et négatifs (figure 1). Certains pions et kaons se désintègrent en **muons** (particules élémentaires similaires aux électrons) et en **neutrinos** (particules élémentaires neutres), tandis que d'autres pions se désintègrent en **photons gamma**, soit une forme de rayonnement électromagnétique.

Les photons gamma peuvent alors produire des **électrons** et des **positrons** (antiparticules des électrons), qui libéreront d'autres photons gamma et ainsi de suite.

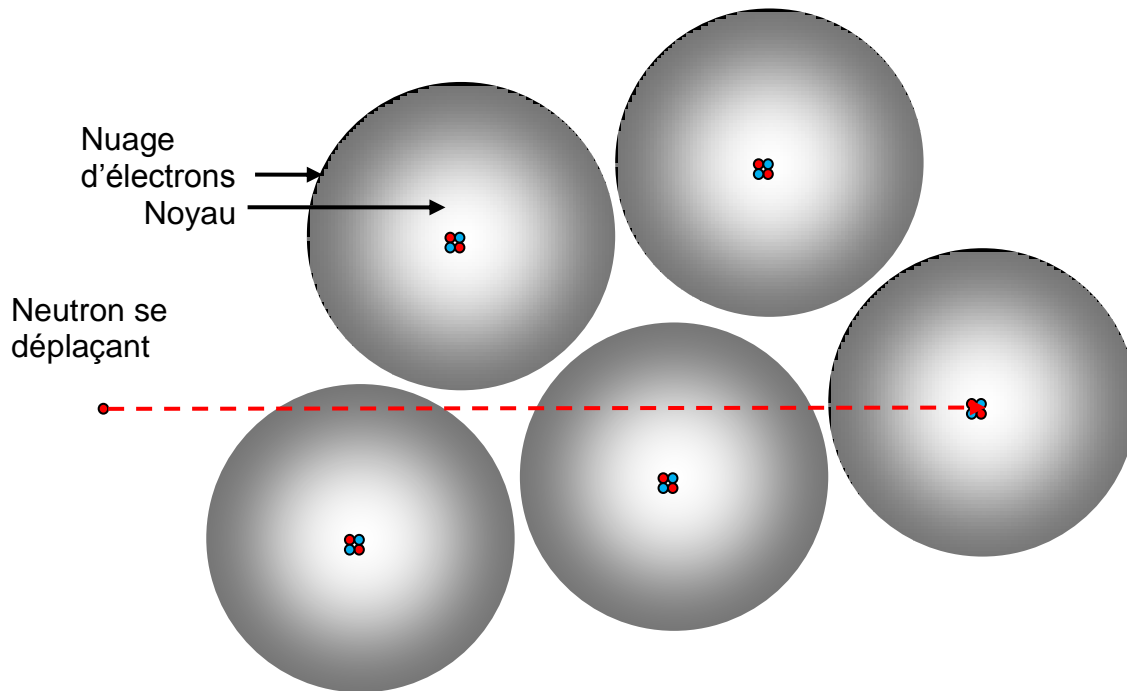
Un grand nombre des particules cosmiques secondaires produites au départ fractionnent davantage de noyaux et se désintègrent en produisant davantage de particules. Le nombre de particules augmente donc rapidement à mesure que la gerbe de particules descend dans l'atmosphère. Toutefois, les particules perdent de l'énergie à chaque interaction et finissent par ne plus pouvoir créer de nouvelles particules. Ainsi, seulement une petite fraction des particules cosmiques secondaires atteignent la surface de la Terre. Leur nombre varie selon l'énergie des particules et l'altitude – plus l'on s'élève en altitude, plus les particules que l'on est susceptible de rencontrer sont nombreuses. C'est pour cette raison que le personnel navigant est exposé à davantage de rayons cosmiques secondaires que les personnes au sol et c'est aussi pourquoi on y est davantage exposé sur une montagne qu'au niveau de la mer. En fait, les rayons secondaires produits par la plupart des rayons cosmiques ne se rendent même pas à la surface de la Terre.

PARTIE 2 : LE RAYONNEMENT NEUTRONIQUE

Les neutrons sont un type de particules cosmiques secondaires produites à la suite de l'interaction des rayons cosmiques primaires avec la matière. Les **neutrons** sont des particules présentes dans le noyau des atomes. Ils ne sont pas chargés, contrairement aux protons et aux électrons, et leur masse est légèrement supérieure à celle d'un proton. Le **rayonnement neutronique** est un type de **rayonnement directement ionisant** qui se compose de **neutrons libres** (neutrons libérés par les atomes). Les neutrons libres sont instables. S'ils n'entrent pas en interaction avec la matière, ils se transforment en protons et en électrons par **désintégration bêta moins** en environ 10,6 minutes.



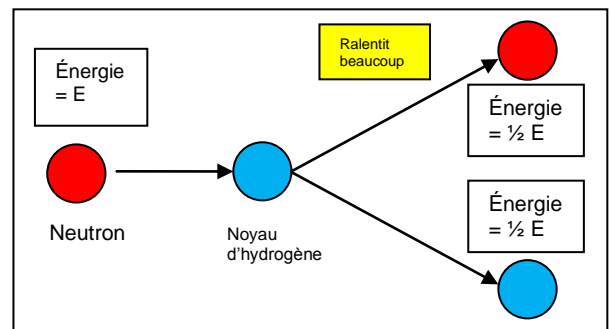
Lorsque les neutrons libres entrent en contact avec la matière, au lieu d'interagir avec elle comme le font les particules chargées, ils interagissent seulement avec le noyau des atomes. Quand cela se produit, plusieurs résultats sont possibles selon l'énergie du neutron et la masse du noyau. Cependant, toutes les interactions sont régies par les lois de la conservation de l'élan et de l'énergie. Puisque les neutrons interagissent principalement avec les petits noyaux atomiques plutôt qu'avec les électrons atomiques, ils peuvent pénétrer très profondément dans la matière.



LES INTERACTIONS AVEC LES NEUTRONS

1. Diffusion élastique

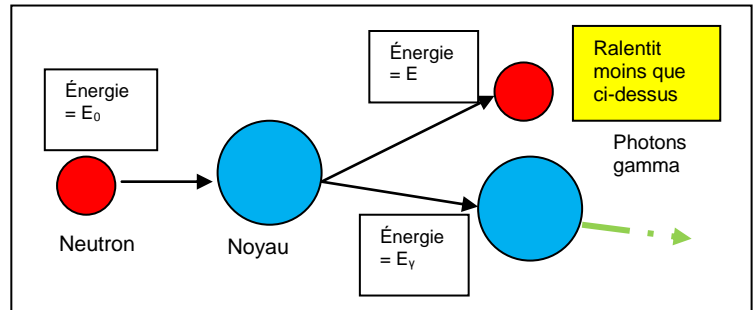
Une collision élastique, qui est semblable à la collision de boules de billard, a pour effet de partager l'énergie cinétique entre le noyau cible et le neutron qui le percute. Si la somme des énergies cinétiques du neutron et du noyau après la collision est égale à leur somme avant la collision, on dit qu'il s'agit d'une **collision élastique** (c'est-à-dire que l'énergie cinétique est conservée). Le transfert d'énergie maximal (environ la moitié de l'énergie totale) se produit lorsque le neutron entre en collision avec un noyau de masse égale, à savoir l'atome d'hydrogène.



Lorsqu'un neutron heurte un noyau d'hydrogène, les protons eux-mêmes deviennent ionisants, parce que leur niveau d'énergie et leur charge leur permettent d'interagir avec les électrons dans la matière. De façon générale, les neutrons rebondissent et sont ralentis par les noyaux légers en raison de la diffusion élastique. C'est pourquoi les substances et matières riches en hydrogène, par exemple l'eau, le polyéthylène et le béton, assurent une bonne protection contre le rayonnement neutronique.

2. Diffusion inélastique

Lorsqu'un neutron entre en collision avec un noyau plus lourd, il peut rebondir. En pareil cas, le neutron peut transférer une partie de son énergie au noyau et en perdre lui-même. Lorsqu'une partie de l'énergie cinétique est convertie en énergie d'excitation du noyau percuté, on dit qu'il s'agit d'une **collision inélastique** (c'est-à dire que l'énergie cinétique n'est pas conservée). L'énergie supplémentaire acquise par le noyau est libérée sous forme de photons gamma.



3. Capture de neutrons

Les neutrons lents peuvent interagir directement avec un noyau dans un processus appelé « **capture de neutrons** ». En pareil cas, le noyau « capture » le neutron, ce qui produit un nouveau noyau (**nucléosynthèse**). Le nouveau noyau, plus lourd, s'excite (devient un **radio-isotope**) et émet une particule et un rayonnement électromagnétique (photons gamma). Le noyau ainsi produit peut aussi être instable et se désintégrer en émettant différents types de rayonnement ionisant. La **thérapie par capture de neutrons par le bore** est un exemple de l'utilisation de la capture de neutrons pour détruire des cellules cancéreuses dans la tête et le cou (voir l'illustration ci-après). On utilise le bore en raison de sa grande capacité d'absorption des neutrons pour produire un rayonnement ionisant.

