

# Principes de base de la radioprotection

## Protection contre les rayonnements ternes

Credits : The Society for Radiological Protection (<https://www.srp-uk.org>)

### Checklist pour l'enseignant

#### Public cible

Élèves en sciences/STEM du troisième degré

#### Format de l'activité

Activité interactive en classe dans le cadre d'une leçon ou d'un résumé

#### Durée

15 minutes

#### Objectifs d'apprentissage

Après avoir suivi cette activité pédagogique, l'élève sera capable :

- d'illustrer visuellement les principes de base de l'interaction entre les rayonnements provenant de sources radioactives (alpha, bêta et éventuellement gamma) et les matériaux
- de porter un regard critique sur les matériaux utilisés qui leur ont été présentés

#### Matériel et espace requis

- Grande salle où les élèves peuvent se tenir en ligne ou en demi-cercle (par exemple, une salle de sport).
- Grand ballon de gymnastique gonflable
- Sac de petites balles en plastique



## Activité

Demandez aux élèves de se tenir à environ un mètre de distance l'un de l'autre, en ligne ou en demi-cercle. L'idée est que les élèves représentent le noyau des atomes qui composent un matériau : ils sont le « modèle vivant » d'un atome d'hélium. Donnez deux balles à chaque élève. Ces balles représentent les électrons qui tournent autour du noyau pour former des atomes électriquement neutres. Pour représenter le mouvement continu des électrons, encouragez les élèves à jongler aussi bien qu'ils le peuvent. Une petite compétition peut se mettre en place entre les élèves qui veulent montrer leurs talents de jongleur. La plupart des élèves seront capables de manipuler un maximum de 2 balles à la fois.

Le défi pour les élèves est de garder le contrôle de leurs électrons lorsqu'ils sont bombardés de radiations - simulées par le ballon de gymnastique et d'autres balles en plastique.

Il existe plusieurs possibilités d'adaptation et de mise en relation avec d'autres parties du cours de sciences, ainsi que des possibilités pour les élèves d'examiner ce modèle de manière critique. Quelques idées sont données dans l'annexe de ce document.

## Particules alpha

L'enseignant ou un volontaire désigné peut simuler l'effet des particules alpha en touchant (délicatement) les jongleurs à l'avant du groupe avec le ballon de gymnastique. En raison de la grande taille du ballon, il est très probable qu'il touche une cible et qu'il « dissocie » ainsi les électrons du jongleur. Les élèves (atomes) perdront ainsi tout espoir de garder le contrôle de leurs balles (électrons). Le ballon de gym est très efficace pour « ioniser » les élèves en raison de sa grande taille. À l'échelle atomique et subatomique, la section efficace des particules alpha devient moins importante, car la distance est suffisamment grande par rapport à la force de Coulomb. Les particules alpha interagissent le plus fortement avec les électrons atomiques en raison de leur charge électrique importante et de leur vitesse relativement lente. Cette activité confirme que les particules alpha provoquent la plus grande densité d'ionisations en réagissant fortement avec de nombreux électrons atomiques.

## Particules bêta

Pour simuler les particules bêta, les autres balles vont maintenant être utilisées comme projectiles. Avec précaution, un volontaire peut les lancer sur les élèves jongleurs dans le but de faire tomber les balles avec lesquelles ils sont en train de jongler. Veillez à ce que les balles soient légères (par ex. balles en éponge ou en plastique) et que les élèves retirent leurs lunettes, etc. Veillez à ce que les balles soient lancées avec précaution. En raison de la taille beaucoup plus petite des projectiles, la probabilité d'interaction avec l'un des électrons atomiques sera beaucoup plus faible, de sorte que les projectiles iront beaucoup plus loin. Les dimensions identiques des électrons projectiles et des électrons cibles rappellent aux élèves que les particules bêta sont en fait des électrons. Là encore, la taille physique sera moins importante, comme pour les particules alpha, mais en raison de leur taille plus petite et de leur vitesse plus élevée, les particules bêta interagiront moins fortement avec la matière que les particules alpha.

## Rayonnement gamma

Les élèves doivent savoir que le rayonnement gamma est un rayonnement électromagnétique de haute énergie et de courte longueur d'onde, une sorte de lumière. Les rayons gamma sont les plus pénétrants des trois principaux types de rayonnement, et ont la plus faible densité d'ionisation.

On peut considérer que le modèle simple décrit ci-dessus, qui illustre les interactions de particules chargées, ne rend pas compte de toute la complexité des interactions gamma. Les propriétés des photons individuels du rayonnement gamma ne peuvent pas être représentées, ce qui doit inciter les élèves à réfléchir aux limites de ce modèle. La lumière passe à travers les jongleurs sans interagir avec les balles. L'effet de distraction des lampes de poche peut amener les jongleurs à faire tomber les balles (simulant ainsi l'effet d'ionisation). La lumière passe sans interagir avec les balles.

## La science

L'explication complète de la façon dont les rayonnements ionisants réagissent avec la matière est très complexe. Pour un aperçu compréhensible de la théorie avec peu d'approximations mathématiques, voir Liley [1]. La caractéristique commune de tous les types de rayonnements ionisants issus de la désintégration radioactive est qu'ils prennent naissance dans le noyau d'un atome et interagissent principalement avec les électrons atomiques, formant finalement des ionisations et des excitations. Ces deux réactions sont donc au cœur de tous les aspects de la détection et de la mesure des rayonnements. En outre, la nature ionisante d'un type de rayonnement détermine son degré de nocivité pour l'organisme : l'ionisation induite par les rayonnements dans des matériaux biologiquement importants peut déclencher une série complexe de réactions chimiques qui finissent par entraîner des perturbations biologiques et des maladies. De même, la capacité ionisante des rayonnements est importante lorsqu'ils sont utilisés dans des applications médicales, comme la radiothérapie, qui permet de détruire les cellules cancéreuses.

**Des particules chargées (alpha et bêta) excitent les électrons atomiques via la force électrostatique** (force de Coulomb). La quantité d'interaction avec chaque électron atomique individuel, et donc la capacité du rayonnement à ioniser, dépend de deux facteurs principaux :

- La charge électrique de la particule – plus la charge est importante, plus la force d'attraction ou de répulsion agissant sur les électrons atomiques pour une distance donnée est grande.
- La vitesse à laquelle la particule se propage. Plus la vitesse est lente, plus le temps nécessaire à une particule pour traverser un atome est important – et donc plus *l'impulsion* (force moyenne x temps) ressentie par les électrons atomiques est grande. En d'autres termes, il est moins probable qu'une particule rapide soit proche pendant une durée suffisamment longue pour provoquer une excitation ou une ionisation.

La densité d'ionisation (nombre d'ionisations produites par unité de longueur) résultant du passage de particules chargées dépend également des propriétés du matériau. Un matériau dense à valeur  $Z$  élevée, tel que le plomb, aura une densité plus élevée d'électrons « cibles », et aura un *pouvoir d'arrêt* élevé, et bien sûr une grande densité d'ionisation.

Les **particules alpha**, dont la charge sans écran est de  $+2e$ , provoquent la plus forte densité d'ionisation et sont donc les moins pénétrantes des principaux types de rayonnement ionisant. Pour les énergies habituelles auxquelles les particules alpha sont émises (quelques MeV), leur vitesse sera suffisamment faible pour qu'elles aient le temps de réagir avec les électrons atomiques. La particule alpha étant beaucoup plus passive qu'un électron, de nombreuses collisions doivent avoir lieu avant que le projectile ne s'arrête. Chaque collision n'échangera qu'une petite quantité d'énergie cinétique. Dans certains matériaux, une particule alpha peut interagir avec des millions d'électrons individuels avant de s'immobiliser et d'être neutralisée électriquement – mais à une très courte distance.

La physique de la réaction des **particules bêta** est identique à celle des particules alpha. Cependant, la particule bêta a une charge unique et est généralement émise à une vitesse beaucoup plus élevée que les particules alpha en raison de sa masse plus faible. Par conséquent, l'interaction des particules bêta avec la matière sera beaucoup plus faible : la probabilité qu'une particule bêta ionise un atome individuel sur son chemin est beaucoup plus faible. Lorsque la particule bêta interagit malgré tout avec un électron atomique, une fraction importante de l'énergie cinétique (voire peut-être toute l'énergie) est échangée en raison de l'égalité de masse. Un plus petit nombre de collisions qui ont moins de chances d'amener la particule bêta à l'arrêt.

Les rayonnements gamma sont des rayonnements électromagnétiques de haute énergie, des photons, résultant de transitions nucléaires, avec des longueurs d'onde similaires aux dimensions du noyau atomique. **Les interactions des rayons gamma avec la matière sont plus complexes que le processus de la force électrostatique (Coulomb) chez les particules chargées.** Pour les rayonnements gamma, il existe trois processus principaux par lesquels l'énergie initiale peut être transférée, à savoir *l'absorption photoélectrique*, la *diffusion Compton* et, pour les photons suffisamment énergétiques, la *production de paires électron-positron*. L'apparition de chaque réaction dépend de l'énergie du rayonnement gamma et du matériau qu'il frappe. Comme plusieurs autres processus d'interaction, l'ionisation par le rayonnement gamma est un bon exemple de la dualité entre onde et particule ; il est raisonnable de penser que le rayonnement gamma se déplace sous forme d'ondes, mais lorsqu'une interaction a lieu, il s'agit d'un processus localisé et la nature particulaire du rayonnement est révélée. Le rayonnement gamma est le plus pénétrant des principaux types de rayonnements ionisants, car sa probabilité d'interaction avec les atomes individuels est très faible. Il présente donc la plus faible densité d'ionisation.

Il est attendu des élèves qu'ils aient une idée des différents pouvoirs de pénétration des rayonnements ionisants. Ils doivent comprendre que quelques cm d'air ou une feuille de papier suffisent à bloquer complètement le rayonnement alpha, alors que les particules bêta peuvent pénétrer une feuille d'aluminium de plusieurs mm. Quant au rayonnement gamma, il faut disposer de plusieurs cm de plomb (ou d'un autre matériau équivalent de même densité) pour le bloquer efficacement.

