

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

30 minutes

Objectifs d'apprentissage

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

- d'identifier le temps, la distance et les écrans comme les principes majeurs de protection contre les rayonnements externes
- de décrire les effets d'une modification du temps d'exposition, de la distance par rapport à la source et des écrans de protection en fonction de la dose reçue.

Matériel et espace requis

- Grande salle (par exemple, salle de sport)
- Arme-jouet pouvant tirer plusieurs fois d'affilée (idéalement 15-20 fois sans rechargement, par exemple le pistolet Nerf Dart Tag)
- Fléchettes avec pointe en velcro
- Gilet en velcro
- Lunettes de sécurité (x 2)
- Panneaux en carton percés de 21 grands trous (80 mm de diamètre)
- Panneaux en carton percés de 42 petits trous (40 mm de diamètre) - facultatif
- Panneaux en carton percés de 21 petits trous (40 mm de diamètre)
- Chronomètre
- Ruban adhésif (papier)



Action enseignant	Action élève
<p>Rappelez aux élèves que les appareils à rayons X et certaines sources radioactives émettent des rayonnements ionisants qui peuvent pénétrer profondément dans les matériaux et les tissus et causer des dommages. Expliquez les objectifs d'apprentissage de cette activité.</p> <p>Expliquez que le pistolet à fléchettes représente une source de rayonnement ionisant et que la fléchette représente le rayonnement ou les particules émises. L'idée est de simuler comment nous pouvons réduire la quantité de rayonnement qui touchera une personne.</p> <p>Choisissez 1 élève qui sera le tireur et un autre qui sera la cible.</p>	<p>(pour chacune des expériences)</p> <p>Les deux élèves mettent des lunettes de sécurité (les équipements de protection individuelle - EPI sont très importants lorsqu'on travaille avec des radiations !) et la cible met un gilet à velcro.</p> <p>Le tireur tire toutes les fléchettes du pistolet en direction de la cible afin de placer le plus de fléchettes possible sur le gilet en velcro.</p> <p>Lorsque toutes les fléchettes ont été tirées, les autres élèves comptent le nombre de fléchettes ayant atteint la cible et notent le résultat.</p>
<p>Expérience sur la distance</p> <p>Expliquez aux élèves que vous allez examiner ensemble l'effet de la distance entre la source et la cible. Mesurez et marquez une distance de 5 mètres entre le tireur et la cible. Dites-leur que seules les fléchettes qui finissent sur le gilet en velcro comptent.</p> <p>Réorganisez l'installation de manière à ce que le tireur puisse recharger et tirer à nouveau à une distance de 10 mètres de la cible.</p> <p>Demandez aux élèves de réfléchir à ce qu'il est advenu du nombre de « rayons » ayant atteint la cible lorsque la distance a augmenté et à la manière dont cette observation pourrait être utilisée si l'on travaillait réellement avec du matériel radioactif.</p> <p>Pour un nombre suffisant de fléchettes tirées aléatoirement, une relation inverse du carré peut être observée. Dans cette expérience, le tireur est intelligent et visera bien sûr délibérément la cible. Un certain degré d'aléatoire peut être introduit en bandant les yeux du tireur.</p>	
<p>Expérience sur le temps</p> <p>Si vous le souhaitez, vous pouvez choisir un nouveau tireur et une nouvelle cible.</p> <p>Expliquez que vous allez maintenant examiner l'effet du temps d'exposition. Dites au tireur qu'il a 20 secondes pour toucher la cible.</p> <p>Demandez à un autre élève de s'occuper du chronomètre et de donner un signal lorsque le temps est écoulé.</p> <p>Réorganisez l'installation de manière à ce que le tireur puisse recharger le pistolet et répétez l'expérience en lui disant que cette fois, il n'a que 10 secondes pour toucher la cible.</p>	

<p>Demandez aux élèves ce qu'il est advenu du nombre de fléchettes ayant atteint la cible lorsque le temps d'exposition a été réduit et comment ce constat pourrait être utilisé si l'on travaillait avec du véritable matériel radioactif.</p>	
<p>Expérience avec écrans Si nécessaire, choisissez un nouveau tireur et une nouvelle cible.</p> <p>Expliquez que vous allez maintenant examiner l'effet de différents types d'écrans entre le tireur et la cible. Donnez à la cible le panneau percé des plus grands trous.</p> <p>Réorganisez l'installation de manière à pouvoir recharger le pistolet. Remplacez le panneau par celui percé de trous de taille moyenne (si disponible) et répétez l'expérience.</p> <p>Enfin, réorganisez de manière à pouvoir recharger le pistolet, remplacez le panneau par celui qui a les plus petits trous et répétez l'expérience.</p> <p>Demandez aux élèves en quoi l'utilisation d'écrans différents a modifié le nombre de fléchettes ayant atteint la cible. Demandez-leur ce que représentent les différents types d'écran.</p>	
<p>Ces démonstrations peuvent être suivies d'un exemple/vidéo d'une véritable source radioactive protégée par des écrans de différents matériaux (par ex. une source gamma protégée par un écran de papier, d'aluminium et de plomb).</p>	

La science

Les trois principes de base de la radioprotection peuvent être résumés comme suit :

- **le temps** - il convient de réduire autant que possible le temps passé à proximité d'une source de rayonnement
- **la distance** - il convient de maintenir une distance aussi grande que possible entre l'individu et la source de rayonnement
- **les écrans** - une barrière appropriée doit être placée entre la personne et la source de rayonnement

Minimiser le temps passé en présence d'une source de rayonnement est un moyen évident de réduire l'exposition. Nous donnons toutefois ci-dessous une explication simple de la physique de la distance et des écrans.

Distance à la source : la loi du carré inverse

Les matériaux radioactifs émettent généralement des rayonnements dans toutes les directions. Si les rayonnements ionisants émis sont de type gamma, ils peuvent traverser l'air sans subir beaucoup d'atténuation. Par conséquent, le rayonnement gamma provenant de sources de haute activité peut être mesuré à des centaines de mètres de distance et peut présenter un risque d'exposition pour les personnes se trouvant à proximité de la source. Il est à noter que les sources gamma utilisées pour les exercices de détection ne présentent pas une activité élevée et sont donc à faible risque : elles sont à peine détectables à plus de quelques mètres de distance.

On peut s'attendre à ce que l'intensité du rayonnement diminue avec la distance de la source. Dans de nombreuses circonstances, on peut supposer la *géométrie d'une sphère*, ce qui permet de déterminer facilement la relation entre l'intensité du rayonnement (et donc le débit de dose) et la distance à la source. La géométrie d'une sphère signifie qu'une source peut être considérée comme un point dans l'espace, sans forme ni volume. Cette hypothèse fonctionne bien lorsque la distance à la source est beaucoup plus grande que les dimensions de la source elle-même. Comme le rayonnement est émis dans toutes les directions, l'intensité du rayonnement à une certaine distance suivra la *loi du carré inverse*. Cela signifie que l'intensité diminue en proportion inverse du carré de la distance, c'est-à-dire que si vous doublez la distance par rapport à la source, l'intensité diminuera d'un facteur $2^2 = 4$. Si vous triplez la distance, l'intensité diminuera d'un facteur 9, et ainsi de suite.

À toute distance r de la source ponctuelle, le rayonnement se répandra sur la surface d'une sphère de $4\pi r^2$. Si le débit d'émission de photons de la source ponctuelle P est de photons s^{-1} , et l'intensité φ (le flux de photons traversant une surface perpendiculaire à la direction des photons) à une distance r est $\varphi = \frac{P}{4\pi r^2}$ où φ est exprimé en photons m^{-2} .

Alternativement, puisque pour une source de rayonnement donnée, le débit d'émission de photons d'une source ponctuelle est proportionnel à la puissance émise, P peut être exprimé en watts et φ en Wm^{-2} .

Pour le test pratique avec le pistolet à fléchettes, il convient d'observer que moins de fléchettes atteignent la cible lorsque celle-ci est plus éloignée et que l'on tire de manière aléatoire au lieu de viser. La loi du carré inverse devrait être suivie approximativement, et il peut être utile d'essayer avec un groupe plus qualifié. Un certain degré d'aléatoire dans toutes les directions peut être simulé avec le pistolet à fléchettes en plaçant un bandeau sur les yeux du tireur qui doit atteindre la cible.

Écrans

Pour une version (très) simplifiée de la façon dont les rayonnements ionisants réagissent avec la matière, et pour une séance interactive en classe, voir par exemple P. Sapple (2015) et les références [1]. Les rayonnements gamma sont des rayonnements électromagnétiques de haute énergie résultant de modifications du noyau atomique, avec des longueurs d'onde similaires aux dimensions du noyau. Les interactions des rayons gamma avec la matière sont plus complexes que les simples forces de Coulomb pour les particules chargées. Pour les rayonnements gamma, il existe trois processus principaux par lesquels l'énergie initiale peut être transférée, à savoir l'*effet photoélectrique*, la *diffusion Compton* et, pour les photons suffisamment énergétiques, la *production de paires* électron-positron. L'importance relative de chaque processus dépend de l'énergie des rayonnements gamma et du matériau irradié.

Ces processus éliminent au final les photons du flux de gammas initial qui traverse un matériau donné. Les rayonnements gamma sont les plus pénétrants des trois types de rayonnement en raison de leur faible probabilité d'interaction avec les atomes individuels. La probabilité qu'un photon gamma interagisse avec un atome individuel via un processus mentionné ci-dessus est exprimée par la *section efficace d'interaction*. La section efficace ' σ ' est une dimension de surface. On peut imaginer que chaque atome présente une structure en forme de disque au flux gamma – si la trajectoire du photon croise le disque, une interaction aura lieu. Bien sûr, un tel raisonnement géométrique n'est pas tout à fait réaliste étant donné que ces processus fonctionnent en mécanique quantique selon une certaine probabilité plutôt que par des collisions classiques. Mais le modèle du disque est utile en tant que modèle. La section efficace dépend du type de matériau et de

l'énergie des photons incidents. En général, les atomes de masse atomique plus élevée (Z élevé) et un grand nombre d'électrons auront une section efficace plus importante.

La situation la plus simple (macroscopique) qui peut être décrite mathématiquement est celle d'un faisceau de rayonnement monoénergétique uniforme qui frappe une cible (dans ce contexte, un écran). L'intensité du faisceau I après que le rayonnement a traversé un matériau d'épaisseur x est donnée par la formule :

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

Où I_0 représente l'intensité du faisceau de rayonnement frappant l'écran, et μ le *coefficient d'atténuation linéaire*. Le coefficient d'atténuation linéaire est une propriété spécifique à un matériau et dépend en définitive de s (c'est-à-dire des propriétés atomiques du matériau) et de la densité de masse (une densité plus élevée signifie un plus grand nombre d'atomes avec lesquels interagir). En général, un matériau à Z élevé et de haute densité tel que le plomb aura une valeur μ élevée. Comme mentionné, les contributions relatives de chacun des processus d'interaction dépendent de l'énergie, ce qui signifie que le coefficient d'atténuation total est défini par l'énergie du photon.

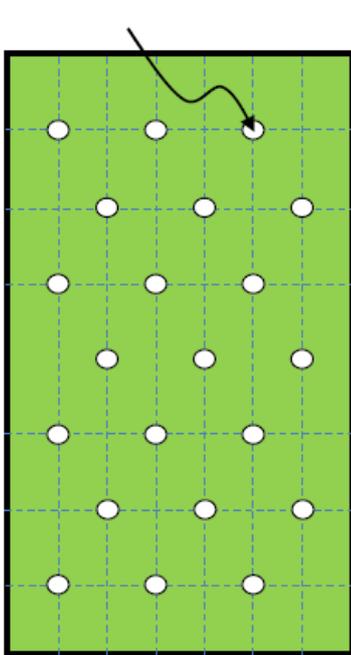
Les trois formes d'écran décrites dans la section suivante présentent deux types différents de matériaux d'atténuation, par exemple le béton et le plomb. Le diamètre des trous représente s (des trous plus petits signifient une profondeur de pénétration moindre). Les écrans vert (1) et jaune (2) sont fabriqués dans le même matériau de base, car les trous ont les mêmes dimensions. La version verte représente une forme plus dense du matériau, car elle comporte moins de trous pour laisser passer des fléchettes et plus de « bois » pour les arrêter. Par exemple : le béton peut être fabriqué à différentes densités en compactant le matériau. Des densités différentes de béton auront la même section efficace (même matériau), mais des coefficients d'atténuation linéaire différents en raison des densités différentes. L'écran rouge est constitué d'un matériau différent (moins atténuant) car il comporte des trous plus grands qui laisseront passer plus de fléchettes (photons).

Les différents matériaux ont des coefficients d'atténuation de masse différents et ce facteur change également en fonction de l'énergie du rayonnement. L'effet est simplement que certains matériaux réduiront le rayonnement plus que d'autres et offriront donc un meilleur écran de protection. Par exemple, 30 mm de plomb réduiront jusqu'à 50 % le rayonnement gamma du cobalt 60 (une source radioactive courante), alors que 30 mm d'acier ne réduiront l'effet des rayons que de 10 %.

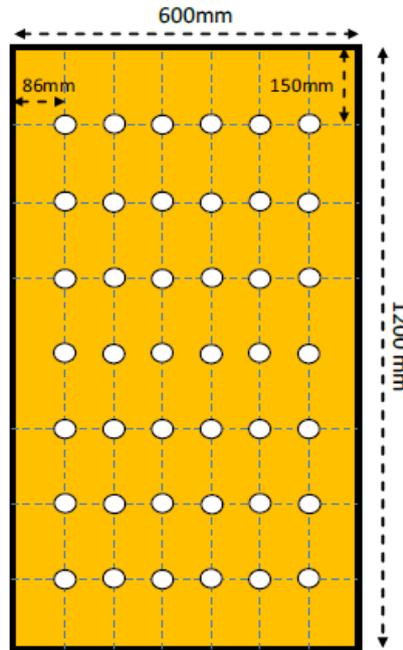
Pour l'essai pratique avec les pistolets à fléchettes, le panneau percé des plus grands trous représentera une épaisseur donnée d'un écran gamma peu efficace, comme l'aluminium. Le panneau avec les plus petits trous représente une version plus épaisse du même matériau, ou la même épaisseur d'un bon écran gamma tel que le plomb.

ANNEXE 1 : conception de l'écran

Petits trous
Panneau contreplaqué peint
(diamètre 40 mm)

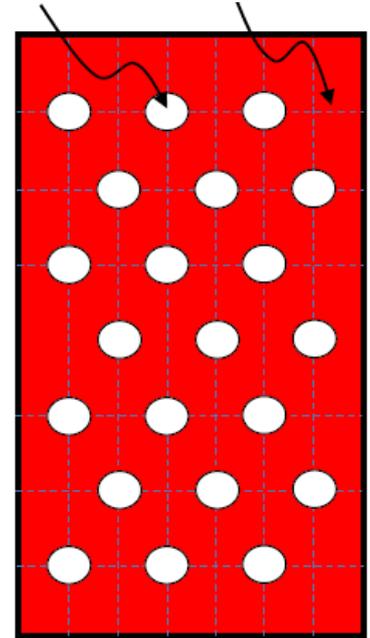


Écran A1 (facteur 1)



Écran A2 (facteur 1/2)

Grands trous
(diamètre 80 mm)



Écran A3 (facteur 1/4)

La comparaison entre l'écran A1 et l'écran A2 démontre la « densité physique » (A2 a deux fois plus de trous que A1 et tous les trous ont la même taille, donc A2 représente une protection deux fois moins grande).

La comparaison entre A1 et A3 montre la « section efficace d'interaction » (A1 et A3 ont le même nombre de trous, mais les trous de A3 ont un diamètre deux fois plus grand et représentent donc 4 fois moins de protection).

L'expérience montre que le contreplaqué s'avère être un matériau facile à travailler (en termes de perçage des trous).