

Activité 1 : à la découverte de la radioactivité

La radioactivité n'est pas une invention humaine. Elle a été découverte à la fin du XIX^{ème} siècle et de nombreux scientifiques, devenus célèbres depuis, ont travaillé sur ce sujet pour arriver au stade actuel de nos connaissances.

Document 1 : La découverte de nouveaux rayonnements

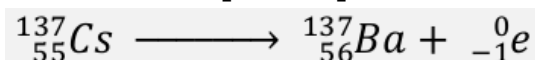
<https://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/physique-chimie/decouverte-radioactivite.aspx>

**Document 2 : Les noyaux d'atomes et la vallée de la stabilité**

<https://www.cea.fr/multimedia/Pages/videos/culture-scientifique/physique-chimie/physique-nucleaire-au-cea.aspx>

**Document 3 : Lois de conservation lors des transformations nucléaires**

Lorsque l'on écrit l'équation d'une réaction modélisant une transformation nucléaire, il est nécessaire de respecter deux lois : celle de la conservation de la charge électrique et celle de la conservation du nombre de nucléons. Par exemple, la transformation du césium 137 en baryum 137 est modélisée par l'équation :

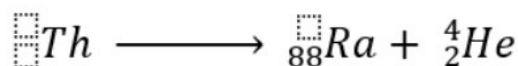
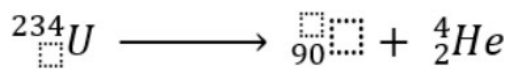
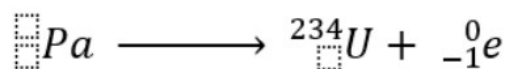
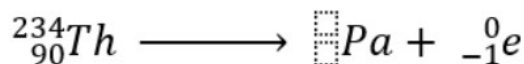


Pour l'ensemble des espèces avant transformation, on a 137 nucléons. De même, pour l'ensemble des espèces après transformation, on retrouve ces 137 nucléons : il y a bien conservation du nombre de nucléons.

Il y a 55 charges positives pour l'ensemble des espèces avant transformation ($Z(\text{Cs}) = 55$). Pour les espèces après transformation, on a 56 charges positives pour le baryum ($Z(\text{Ba}) = 56$) et 1 charge négative via l'électron : on retrouve donc 55 charges positives et il y a bien conservation des charges électriques.

- Après avoir regardé la vidéo du document 1, indiquer le type de rayonnement découvert par Becquerel.
- Décrire les étapes de la démarche scientifique mise en œuvre par Becquerel pour valider sa théorie.
- Après avoir regardé les 7 premières minutes de la vidéo du document 2, indiquer à quoi correspond ce que Becquerel appelait « les rayonnements uraniques ».
- D'après le document 2, quelle est « la cause » de la radioactivité ?
- Quelles sont les différentes formes de radioactivités décrites dans le document 2 ?
- Associer un type de radioactivité à l'équation de réaction modélisant la transformation du césium 137 en baryum 137 écrite dans le Document 3.
- En partant de l'uranium 238, il faut enchaîner plusieurs désintégrations pour atteindre un isotope stable du Plomb. La première étape transforme l'uranium 238 en thorium 234. On donne $Z(\text{U}) = 92$ et $Z(\text{Th}) = 90$.
Proposer une équation de réaction modélisant la transformation nucléaire de l'uranium 238 en thorium 234. De quel type de radioactivité s'agit-il ?

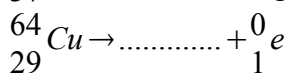
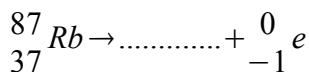
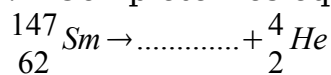
8. Par la suite, la chaîne de désintégrations se poursuit. Ci-dessous sont représentées les équations nucléaires suivantes à partir du thorium :



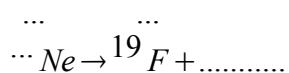
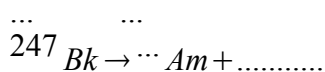
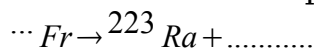
Reproduire et compléter la chaîne de transformation radioactive ci-dessus en respectant les lois de conservation.

Indiquer le type de radioactivité associé à chaque transformation précédente.

9. Compléter les équations des réactions nucléaires suivantes :



10. Compléter les équations des réactions nucléaires et indiquer le type de radioactivité correspondante :

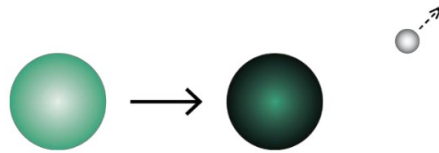


Activité 2 : évolution temporelle d'un échantillon radioactif, étude par simulation

Cette activité utilise le simulateur « simulRAD » accessible sur :
profTR.fr/AccesLibre/Simulateurs_en_ligne/simulRAD/simulRAD.html



SimulRAD simule une réaction nucléaire spontanée, au cours de laquelle un noyau instable se transforme en un autre noyau stable et émet une particule :



Une telle réaction nucléaire s'appelle une désintégration radioactive, le noyau initial est dit radioactif.

1ère partie : comportement d'UN noyau unique

Simulation :

- ⊛ Régler le nombre de noyaux à 1 seul noyau.
- ⊛ Lancer l'animation en cliquant sur « ▷ » et noter la durée au bout de laquelle le noyau se désintègre.
- ⊛ Recommencer deux ou trois fois et noter les durées obtenues.

1. Quelle propriété de la désintégration radioactive ces simulations mettent-elles en évidence ?

2. Ne pas utiliser le simulateur pour traiter la question qui suit !

La constante radioactive λ représente la probabilité que le noyau se désintègre, par unité de temps. Que doit-on obtenir :

- si on augmente λ ?
- si on règle $\lambda = 0$?

⊛ Maintenant, utiliser le simulateur pour vérifier les deux prévisions précédentes.

2ème partie : comportement d'une population de noyaux

⊛ Régler le nombre de noyaux à une dizaine environ et la constante radioactive à $\lambda = 0,3 \text{ s}^{-1}$ environ.

⊛ Cliquer sur « voir le graphique » et lancer l'animation.

⊛ Recommencer deux ou trois fois sans effacer les graphiques successifs.

3. Une évolution temporelle suit une loi si elle est reproductible, c'est-à-dire si, dans des conditions données, elle est toujours la même.

Peut-on dire que l'évolution temporelle d'une population de 10 noyaux suit une loi ?

Simulation :

⊛ Effacer les graphiques.

⊛ Toujours avec $\lambda = 0,3 \text{ s}^{-1}$, réaliser de nouvelles simulations en augmentant peu à peu le nombre de noyaux jusqu'au maximum, afin de tester si leur évolution est reproductible. On effacera les graphiques après chaque augmentation du nombre de noyaux.

4. À quelle condition sur l'échantillon son évolution temporelle suit une loi (on ne demande pas de valeur numérique) ?

5. Comment doit évoluer la courbe obtenue si l'on augmente la constante radioactive ?

Simulation :

⊛ Utiliser le simulateur pour vérifier la prévision précédente.

⊛ Cocher l'option « afficher la courbe d'équation... ». Il s'agit de la loi de décroissance radioactive.

6. En conclusion : Noter l'équation de la loi de décroissance radioactive et préciser à quelle condition elle est suivie par une population de noyaux radioactifs

Activité 3 : évolution temporelle d'un échantillon radioactif, modélisation mathématique

Les noyaux instables sont dits radioactifs. Chaque noyau va se transformer en noyau stable en une ou plusieurs désintégration(s) spontanée(s). Au cours de ce processus, il y aura émission de particules qui pourra être accompagnée de rayonnement électromagnétique. Ainsi le nombre de noyaux radioactifs diminue au cours du temps. Cette décroissance peut être plus ou moins rapide selon la nature des noyaux.

Document 1 : Évolution de la population moyenne d'un ensemble de noyaux radioactifs

La désintégration des noyaux radioactifs au niveau microscopique est aléatoire, mais au niveau macroscopique, le nombre moyen N de noyaux restants dans l'échantillon suit une loi déterminée.

Le nombre de noyaux radioactifs dans un échantillon diminue au cours du temps. Cette évolution est propre à chaque type de noyau.

Pendant une durée infinitésimale dt , la variation du nombre de noyaux dN est proportionnelle à la durée et également proportionnelle au nombre de noyaux présents $N(t)$ soit : $dN = -\lambda N dt$

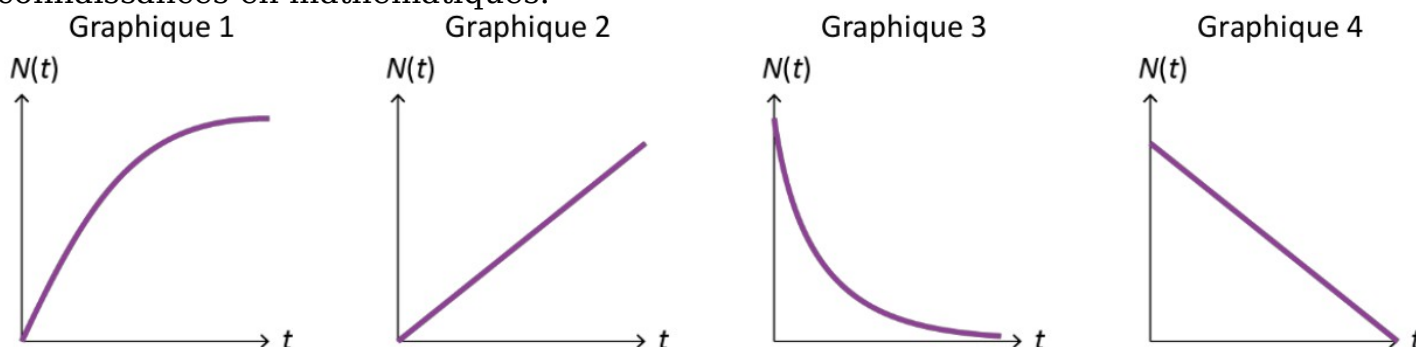
Avec :

- N : le nombre de noyaux radioactifs dans l'échantillon à la date t ;
- dN : la variation de nombre de noyaux pendant une durée dt ;
- λ : constante radioactive caractéristique du type de noyau radioactif, homogène à l'inverse d'un temps.

Document 2 : Loi de décroissance radioactive

À l'aide d'outils mathématiques (résolution d'équation différentielle), on peut obtenir la loi de décroissance radioactive : $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$

1. A l'aide du document 1 et des notions étudiées en cinétique chimique, établir l'équation différentielle vérifiée par le nombre de noyaux $N(t)$.
2. Vérifier que la loi de décroissance radioactive donnée dans le document 2 est bien une solution de l'équation différentielle précédente. Que représente physiquement N_0 ?
3. Des trois graphiques proposés ci-dessous, quel est celui qui modélise la loi de décroissance radioactive du radioélément ? Justifier votre réponse en utilisant vos connaissances en mathématiques.



4. Par analogie avec la cinétique chimique, à quel ordre de réaction peut-on associer ce graphique ?

Activité 4 : datation au carbone 14

La datation par le carbone 14 est une méthode de datation qui repose sur la mesure d'une grandeur liée au carbone 14 présent dans la matière organique que l'on cherche à dater.

Document 1 : formation du carbone 14 et son utilisation en datation

<https://www.cea.fr/multimedia/pages/videos/culture-scientifique/physique-chimie/datation-carbone-14.aspx>



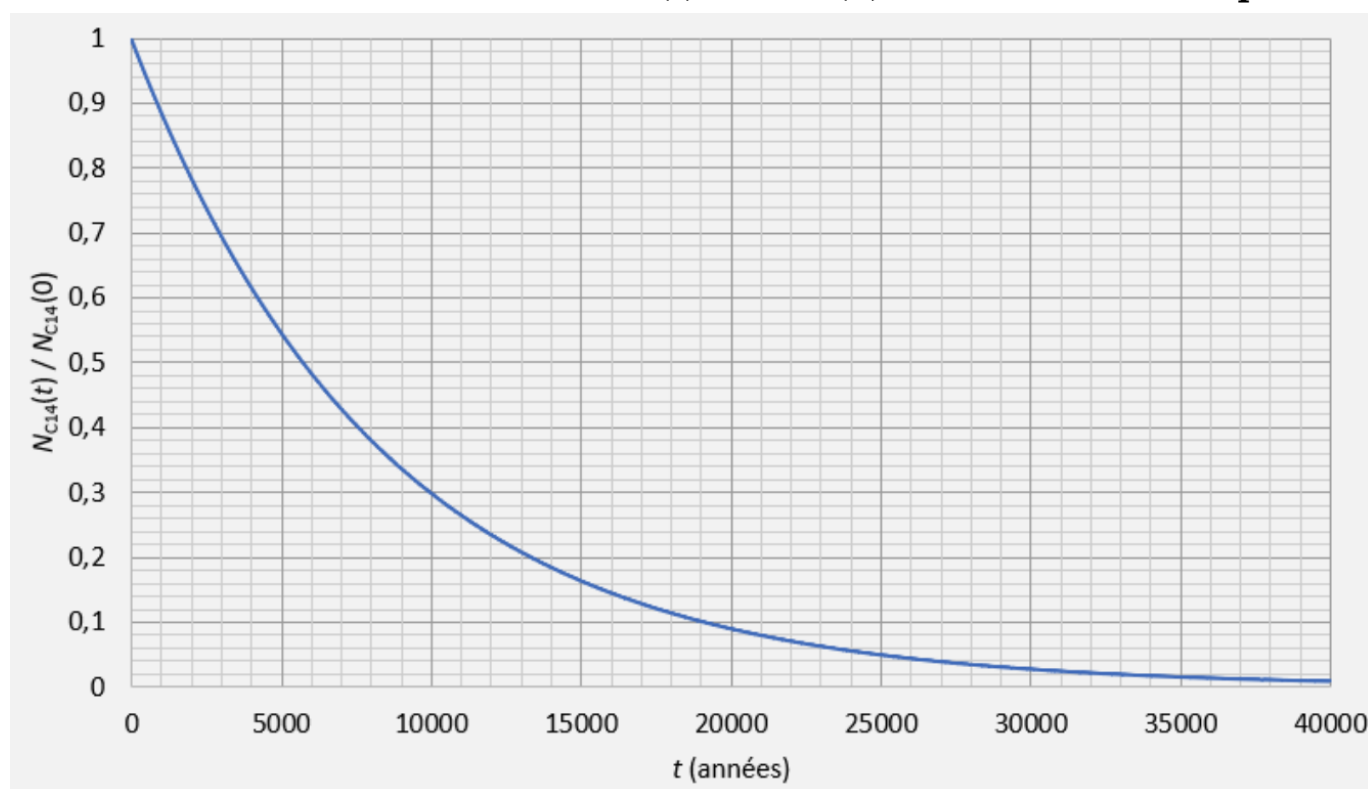
Document 2 : temps de demi-vie d'un échantillon radioactif

C'est le temps usuel qui permet de caractériser le comportement d'un échantillon radioactif. Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux de l'échantillon se soit désintégrés :

$$N(t+t_{1/2}) = \frac{N(t)}{2}$$

Le temps de demi-vie est homogène à un temps et s'exprime en secondes ou dans une unité de temps plus adaptée.

Document 3 : évolution du ratio $N_{C14}(t) / N_{C14}(0)$ en fonction du temps



1. Après avoir visionné la vidéo du document 1, indiquer si les propositions ci-dessous sont vraies ou fausses. Corriger les affirmations fausses.

- Le carbone 14 est l'isotope le plus abondant du carbone.
- Le carbone 14 est formé à partir d'azote 14.
- Les quantités de carbone 12 et de carbone 14 diminuent dans le temps après la mort de l'individu.

- Le temps de demi-vie du carbone 14 est de 5730 ans.
 - Le carbone 14 se désintègre selon l'équation : ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$
 - Les chercheurs peuvent déterminer l'âge carbone 14 d'un échantillon grâce à une mesure de radioactivité de l'échantillon.
 - La quantité de carbone 14 assimilée par les organismes est constante depuis l'apparition de la vie sur Terre.
 - Avec la datation au carbone 14, on peut déterminer l'âge de tout type d'objet ou fossile.
2. Pour $t = 0$, on a $N(t) = N_0$. Donner une relation mathématique reliant $N(t_{1/2})$ et N_0 .
 3. À l'aide de la relation précédente et de la loi de décroissance radioactive, établir une relation reliant $t_{1/2}$ et λ .
 4. Déterminer alors la valeur de la constante radioactive λ du carbone 14.
 5. Vérifier graphiquement que le temps de demi-vie du carbone 14 est bien de 5730 ans.
 6. Des chercheurs analysent un fossile. Ils déterminent qu'il ne reste plus que 20 % des atomes de carbone 14 initialement présents. Estimer alors l'âge du fossile.

Activité 5 : utilisation de la radioactivité dans le domaine médical

La radiothérapie est une technique qui consiste à irradier des cibles tumorales disséminées dans l'organisme au moyen de médicaments radioactifs émettant des rayonnements ionisants.

Document 1 : Injection d'iode 131

L'iode 131 est le radioélément le plus utilisé en radiothérapie β^- . Dans le cadre d'un traitement radiothérapique, 2,0 μg d'iodure de sodium sont injectés. L'échantillon est constitué de 20 % d'atomes d'iode 131 radioactifs et de 80 % d'atomes d'iode 127 non radioactifs. Le traitement à l'iode 131 conduit à une émission importante de rayonnements gamma de haute énergie qui requiert des contraintes de radioprotection dont un confinement des malades dans des chambres radio protégées.

Document 2 : Activité d'un échantillon radioactif

L'activité A d'un échantillon est le nombre de désintégrations par seconde. Elle s'exprime en Becquerel (Bq).

L'activité est proportionnelle au nombre N de noyaux radioactifs contenus dans l'échantillon, le coefficient de proportionnalité étant la constante radioactive λ .

La constante radioactive est reliée au temps de demi-vie par la relation : $\lambda = \ln \frac{(2)}{t_{1/2}}$

Document 3 : Mesures de l'activité d'un échantillon radioactif

Des mesures ont été effectuées sur un échantillon pour s'assurer de la nature de l'échantillon radioactif.

A (MBq)	1600	1460	1345	1230	1130	1040	950	870	805
t (jours)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
A (MBq)	730	670	620	520	440	370	310	260	220
t (jours)	9	10	11	13	15	17	19	21	23

1. Montrer que le nombre de noyaux d'iode radioactifs initialement présent dans l'échantillon injecté au patient est de l'ordre de $1,6 \times 10^{15}$.
2. Calculer alors l'activité initiale A_0 de l'échantillon.
3. Estimer la durée au bout de laquelle cette activité est divisée par 2 puis par 4 ?
4. L'échantillon peut-il être préparé longtemps avant l'injection ?
5. À l'aide d'un logiciel tableur, tracer la courbe associée aux mesures d'activité de l'échantillon du document 3.
6. Modéliser la courbe obtenue et conclure sur la nature de l'échantillon analysé.

Données :

Masses molaires :

$$M({}_{11}^{23}\text{Na}) = 23,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}; \quad M({}_{53}^{131}\text{I}) = 131,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}; \quad M({}_{53}^{127}\text{I}) = 127,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;

Temps de demi-vie de l'iode 131 : $t_{1/2} = 8 \text{ jours}$

Activité 6 : Quelles mesures adopter pour se protéger des rayonnements ?

La médecine moderne utilise plusieurs sources de rayonnements. Les praticiens régulièrement en contact avec ses sources doivent se protéger méticuleusement en respectant un protocole strict de travail.

Document 1 : Les différentes unités de mesure de la radioactivité

Il existe différentes unités de mesure de la radioactivité.

- Le becquerel (Bq), indicateur de la radioactivité émise. Cette unité sert à définir l'activité d'un échantillon radioactif. Un becquerel équivaut à une désintégration par seconde.

- Le gray (Gy), pour mesurer la dose de rayonnement absorbée. Tous les rayonnements émis par des atomes radioactifs transportent de l'énergie. Au contact de la matière, ils cèdent tout ou une partie de leur énergie.

Un gray équivaut à 1 joule par kilogramme.

- Le sievert (Sv) pour évaluer le risque biologique. Pour une même dose absorbée, les effets dépendent de la nature du rayonnement, de son énergie et du temps d'exposition.

Document 2 : Les sources d'exposition à la radioactivité

Il existe différentes sources d'expositions à la radioactivité.

La radioactivité naturelle : on parle des rayonnements cosmiques (de l'ordre de 1 mSv/an), des rayonnements telluriques (de 1 à 10 mSv/an), de la radioactivité de l'air et des radionucléides présents dans le corps humain (moins de 1 mSv/an).

L'exposition peut être d'origine médicale ou industrielle : il faut alors respecter des normes d'expositions pour ne pas avoir de problèmes de santé.

L'exposition peut être accidentelle liée à un accident nucléaire : l'accident entraîne la dispersion de sources radioactives dans l'environnement qui peuvent alors être en contact direct avec les populations (ingestion, inhalation, contact cutané ou non). Ces sources de radioactivités se déposent dans les sols, les surfaces (maison, plantes, etc.) et dans l'eau.

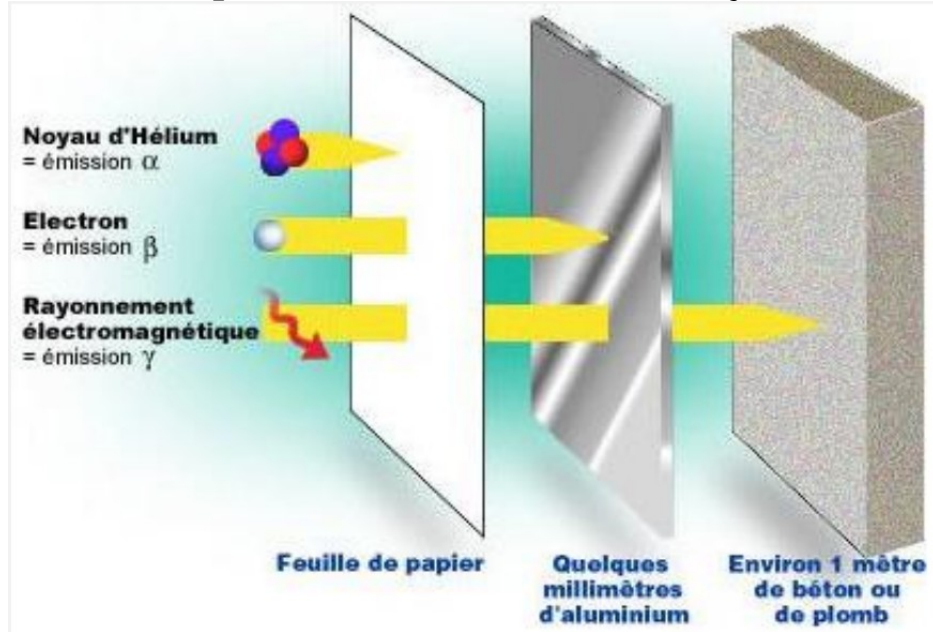
Document 3 : Radioprotection

En France la radioprotection relève de l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui a fixé une dose annuelle admissible de :

- 20 mSv pour les travailleurs soumis aux rayonnements.
- 1 mSv pour la population (sauf dans le cas médical)

Pour se protéger des rayonnements ionisants il faut : s'éloigner de la source ; mettre des écrans (composés d'éléments chimiques de numéros atomiques Z élevés) et diminuer la durée d'exposition.

Document 4 : Pouvoir de pénétration des différents rayonnements



Source : Site de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

À l'aide des documents et de vos connaissances, rédiger une synthèse de 5 lignes maximum précisant les règles de bonne conduite à suivre pour le personnel médical mettant en œuvre des scintigraphies osseuses (source radioactive à base de technétium 99m).