

Thème : Transformation nucléaire
 TP C27 : Radioactivité naturelle
 (version professeur)

B.O. Exploiter la loi et une courbe de décroissance radioactive.

Etude du comportement des noyaux radioactifs. Mise en évidence du caractère probabiliste de la désintégration
 Etude d'un cas de radioactivité naturelle : le radon

Qu'est-ce que le radon ?

Il existe 35 isotopes du radon, tous radioactifs.

Le radon 222 ($^{222}_{86}\text{Rn}$), le plus stable d'entre eux est un gaz radioactif issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents naturellement dans le sol et les roches.

Vidéo introductive : Le radon <https://www.youtube.com/watch?v=ICQyXT5TneM> 7 min 25 s.

Pourquoi s'en préoccuper ?

D'après les évaluations conduites en France, le radon serait la seconde cause de cancer du poumon, après le tabac et devant l'amiante : sur les 30 000 décès constatés chaque année, 3 000 lui seraient attribuables (soit 10% des décès par cancer du poumon).

Où trouve-t-on du radon ?

Le radon est présent partout : dans l'air, le sol, l'eau. Le risque pour la santé résulte toutefois pour l'essentiel de sa présence dans l'air.

Dans l'air extérieur, le radon se dilue rapidement et sa concentration moyenne reste généralement faible.

Dans des lieux confinés tels que les grottes, les mines souterraines mais aussi les bâtiments en général, et les habitations en particulier, il peut s'accumuler et atteindre des concentrations très élevées.

Quelles sont les zones les plus concernées ?

Les zones les plus concernées correspondent aux formations géologiques naturellement les plus riches en uranium. Elles sont localisées sur les grands massifs granitiques (Massif armoricain, Massif central, Corse, Vosges, etc.)

Source : IRSN.fr

Une étude réalisée par des étudiants a porté sur un isotope du radon, le radon 220, dont la désintégration est plus rapide que celle du radon 222. Les résultats expérimentaux de comptage sont fournis ci-dessous :



Expérience : Etude de la décroissance radioactive du radon 220 à partir du film « radondivx5 »

Description du film : Durée du film : 3 min

- première partie (1 min) : préparation du matériel
- deuxième partie (1 min 20 s) : décroissance radioactive du radon 220
- troisième partie (40 s) : mise en évidence du caractère aléatoire de la désintégration

Objectifs :

- Mettre en évidence le caractère aléatoire de la désintégration.
- Etudier la décroissance radioactive du radon 220

Visionner le film et répondez aux questions

Première partie : Etude de la préparation de l'expérience.

Matériel :

- la fiole scintillante : fiole dans laquelle on effectue le comptage de radioactivité.
- Le générateur de radon : fiole contenant du thorium 232 qui par désintégration successives donne du radium 224 qui par désintégration α donne du radon 220.
- Pompe à vide, manomètre et tuyau.
- Photomultiplicateur : dispositif dans lequel on place la fiole scintillante et qui permet le comptage des désintégrations.

Questions sur le matériel :

Pourquoi faire le vide dans la fiole scintillante ?

Pourquoi le contenu du générateur de radon se transfère-t-il naturellement dans la fiole scintillante ?

Réponses :

Le vide est effectué dans la fiole scintillante afin d'éviter toute contamination et de n'avoir que du radon 220.

Le radon se transfère naturellement par différence de pression.

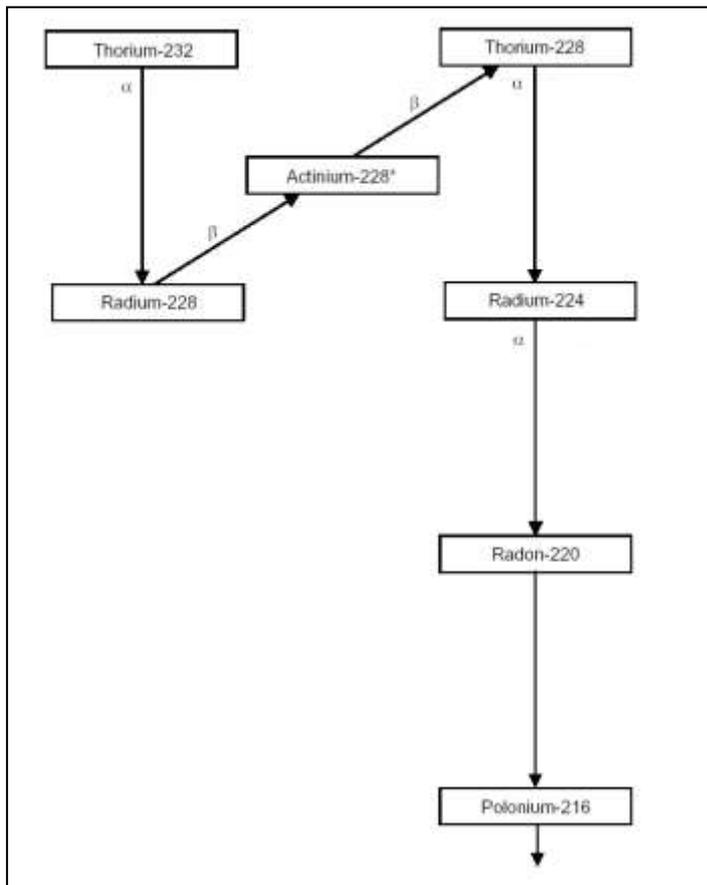
Questions sur la chaîne de désintégration aboutissant à la formation de radon 220.

A partir des documents fournis page suivante, répondez aux questions suivantes :

1. Rappeler les lois de conservation lors des réactions nucléaires.
2. Ecrire l'équation de désintégration du thorium 232 (${}^{232}_{90}\text{Th}$)
3. Ecrire l'équation de désintégration du radium 228 (${}^{228}_{88}\text{Ra}$). S'agit-il d'une désintégration β^- ou β^+ ?
4. Ecrire l'équation de désintégration de l'actinium 228. S'agit-il d'une désintégration β^- ou β^+ ?
5. Que signifie l'astérisque * sur l'actinium ?
6. Ecrire l'équation de désintégration du thorium 228.
7. Ecrire l'équation de désintégration du radium 224.
8. Quelle est la nature de la désintégration du radon 220 en polonium 216 ?

Réponses :

- Lors des réactions nucléaires, il y a conservation du nombre de nucléons et de la charge électrique.
- ${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_{88}^{228}\text{Ra} + {}_2^4\text{He}$
- ${}_{88}^{228}\text{Ra} \rightarrow {}_{89}^{228}\text{Ac} + {}_{-1}^0\text{e}$ Il s'agit d'une désintégration β^-
- ${}_{89}^{228}\text{Ac} \rightarrow {}_{90}^{228}\text{Th} + {}_{-1}^0\text{e}$ Il s'agit d'une désintégration β^-
- L'astérisque * signifie que l'actinium est dans un état excité susceptible d'émettre un rayonnement γ .
- ${}_{90}^{228}\text{Th} \rightarrow {}_{88}^{224}\text{Ra} + {}_2^4\text{He}$
- ${}_{88}^{224}\text{Ra} \rightarrow {}_{86}^{220}\text{Rn} + {}_2^4\text{He}$
- Il s'agit d'une désintégration α .



Source : www.ead.anl.gov/pub/doc/natural-decay-series.pdf

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII
H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57-71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89-103															
Lanthanides		La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71	
Actinides		Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md	No	Lw	

Deuxième partie : Mise en évidence du caractère aléatoire de la désintégration du radon 220

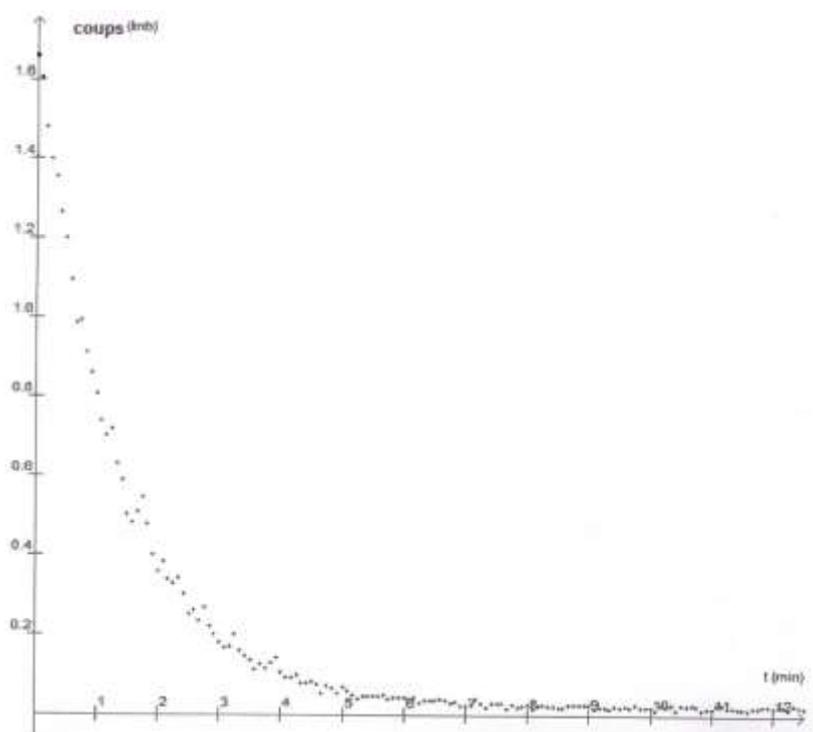
Objectif : Mettre en évidence du caractère aléatoire de la désintégration du radon 220 par comparaison avec un lancer de dés.

Analyse du graphe obtenu lors du comptage.

Le comptage s'effectue maintenant sur une durée plus longue, afin de visualiser la diminution du nombre de noyaux restants dans l'échantillon.

Chaque point représente le nombre de noyaux restants.

La courbe ci-dessous résulte d'un grand nombre de courbes obtenues dans la partie B.



Question : quel type de modèle mathématique décrit au mieux la décroissance radioactive du radon 220 ?

Réponse : le modèle exponentielle décrit au mieux la décroissance radioactive du radon 220.

On souhaite maintenant montrer la correspondance entre le comportement probabiliste du lancer de dés et la désintégration du radon 220.

Caractère aléatoire du lancer de dé.

Vous allez effectuer plusieurs centaines de lancers, pour cela vous allez utiliser un logiciel de lancer de dés.

Télécharger gratuitement ce logiciel :

http://www4.ac-nancy-metz.fr/physique/ancien_site/logiciels/lancer_des/lance_de.htm

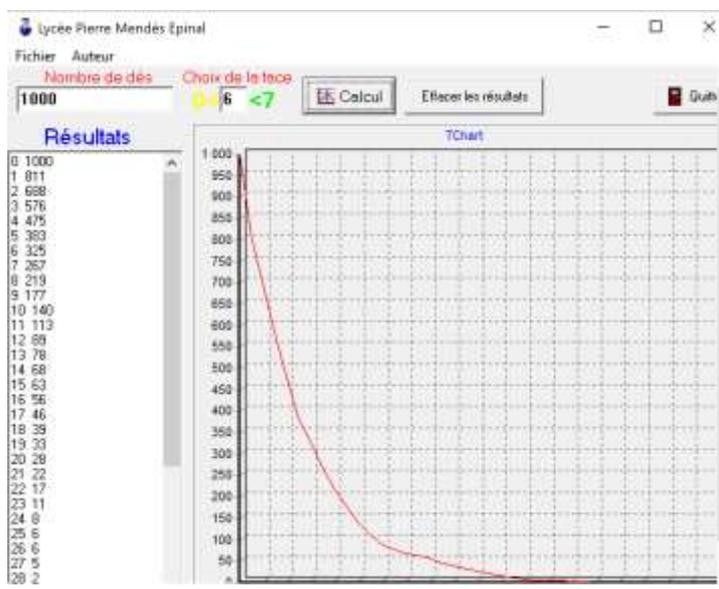
Manipulation :

Choisir un nombre lancers de dés égal à 1 000.

Choisir une face entre 1 et 6

A chaque lancer, on retire tous les dés présentant la face choisie (par exemple la face 6)

Cliquer sur Calcul



Questions :

1. Observer et interpréter la courbe obtenue. A quel modèle mathématique correspond-elle ?
2. Par comparaison avec les courbes de désintégrations, que peut-on dire sur la nature de la loi qui régit ces désintégrations ?

Réponses :

1. On observe une décroissance de type exponentielle.
2. Par comparaison avec la courbe de décroissance radioactive du radon 220, on peut en déduire cette désintégration suit une loi probabiliste. La désintégration du radon 220 est aléatoire.

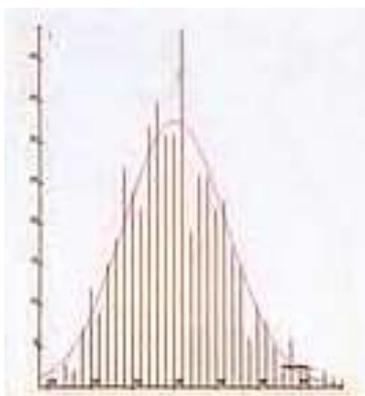
Comparaison avec la désintégration du radon.

Observer la courbe obtenue dans la troisième partie du film qui représente la fréquence de désintégration des noyaux.

Le comptage s'effectue sur une durée très courte (5 secondes).

Il ne montre pas la variation du nombre de noyaux restants dans l'échantillon, mais comment les noyaux se désintègrent.

Fréquence de désintégration f



Courbe de la fréquence de désintégration pendant une durée très courte.

Nombre de sortie d'un noyau désintégré

Questions :

On peut proposer 3 hypothèses d'évolution différentes en faisant une comparaison avec une population humaine :

- Hypothèse A : Mort par épidémie, donc avec interaction entre les individus de la population restante.
- Hypothèse B : Mort avec vieillissement.
- Hypothèse C : Mort aléatoire sans vieillissement.

A partir des résultats obtenus précédemment, indiquer quelle est l'hypothèse à retenir.

Réponse : On constate que la fréquence de désintégration à chaque comptage est la même. Ce qui signifie que le nombre de noyaux qui se désintègre est indépendant du nombre de noyaux restants. Alors le nombre de noyaux qui se désintègre ne dépend pas de «âge » des noyaux (vieillissement), ni d'une interaction avec les autres noyaux (épidémie). Il faut donc retenir l'hypothèse C : mort aléatoire sans vieillissement.

Loi de décroissance radioactive -demi-vie $t_{1/2}$ et de la constante de temps τ

Définition : La demi-vie est la durée correspondant à la désintégration de la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon.

Détermination graphique.

Déterminer la demi-vie du radon 220 à partir de la courbe de décroissance radioactive du radon vue précédemment.

