

Activités expérimentales et documentaires : La radioactivité

Activité 1 : Qu'est-ce que la radioactivité ?

a. Après avoir regardé et lu tous les textes des animations suivantes, répondre aux questions :

<http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/la-radioactivite/de-l-atome-a-la-radioactivite>.

<http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/la-radioactivite/le-becquerel>.

<http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/la-radioactivite/la-radioactivite>

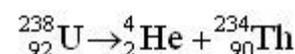
1. Qu'est-ce que la radioactivité ?
2. Qu'est-ce que l'activité d'un échantillon radioactif ?
3. Donner la valeur de quelques activités de produits courants.
4. Quelle est l'unité de mesure de l'activité d'une source radioactive ?

Activité 2 : Les différents types de radioactivités.

Document 1 : Il existe différentes formes de radioactivité.

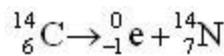
La Radioactivité α : La radioactivité α est une réaction spontanée au cours de laquelle un noyau père instable se désintègre en un noyau fils plus stable avec émission d'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$ appelé « particule α ». Ce type de radioactivité se produit pour les noyaux trop riches en nucléons.

Ex : Désintégration alpha de l'uranium 238 en thorium :



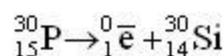
Radioactivité β^- : La radioactivité β^- est une réaction spontanée au cours de laquelle un noyau père instable se désintègre en un noyau fils plus stable avec émission d'un électron ${}^0_{-1}\text{e}$ appelé "particule β^- ". Ce type de radioactivité se produit pour les noyaux trop riches en neutrons.

Ex : Désintégration du carbone 14 :



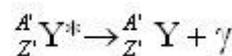
Radioactivité β^+ : La radioactivité β^+ est une réaction spontanée au cours de laquelle un noyau père instable se désintègre en un noyau fils plus stable avec émission d'un positron ${}^0_1\text{e}$ appelé "particule β^+ ". Cette radioactivité est qualifiée de radioactivité artificielle car elle se produit avec des noyaux obtenus en laboratoire. Elle est caractéristique des noyaux contenant trop de protons.

Ex : Désintégration du phosphore :



L'émission γ :

Il ne s'agit pas d'émission de particules matérielles mais d'un rayonnement électromagnétique de très haute fréquence ($f > 10^{18}$ Hz) extrêmement pénétrant. En effet, lors des désintégrations α , β^- et β^+ , les noyaux fils émis sont très souvent dans un état d'énergie excité. On note ces noyaux γ^* . Ils regagnent leur état fondamental stable en émettant de l'énergie sous forme de rayonnement γ .

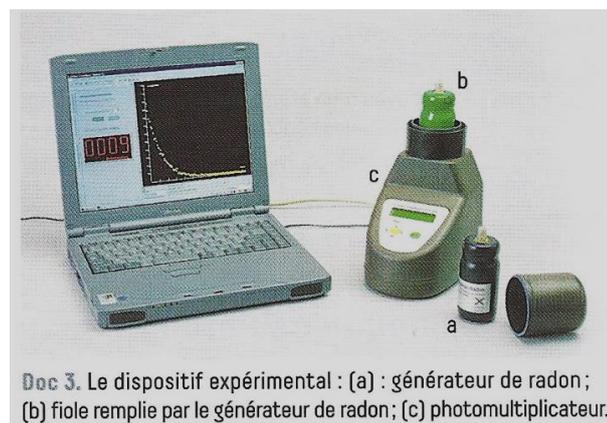


5. Combien de types de radioactivité existe-t-il ?
6. Est-ce que toutes les sortes de radioactivité sont des émissions de particules ?
7. Préciser la nature des particules émises ou de rayonnements émis.
8. Le rayonnement γ émis est-il visible ?

Activité 3 : Décroissance radioactive et temps de demi-vie.

Réaliser avec le professeur la manipulation de désintégration du radon 222 (doc 3.)

Lancer l'acquisition des données et reproduire la courbe obtenue ($N(t) = f(t)$ correspondant au nombre de désintégration de noyaux de radon 222 au cours du temps) sur votre feuille.



Doc 3. Le dispositif expérimental : (a) : générateur de radon ; (b) fiole remplie par le générateur de radon ; (c) photomultiplicateur.

9. Décrire la courbe. Note-t-on la présence d'un palier ? Expliquer ce phénomène ?

10. Déterminer le temps caractéristique appelé période radioactive ou temps de demi-vie, noté $t_{1/2}$, pour lequel :

$$N(t_{1/2}) = N(0)/2$$

$N(0)$ est la valeur initiale de noyaux de radon désintégrés.

11. Noter la valeur de N pour $t = 2.t_{1/2}$, $3.t_{1/2}$, $4.t_{1/2}$. Que constatez-vous ?

12. Comment varie la radioactivité d'un échantillon au cours du temps ?

Activité 4 : Risques liés à la radioactivité.

Regardez attentivement les animations suivantes :

<http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/la-radioactivite/les-rayonnements>.

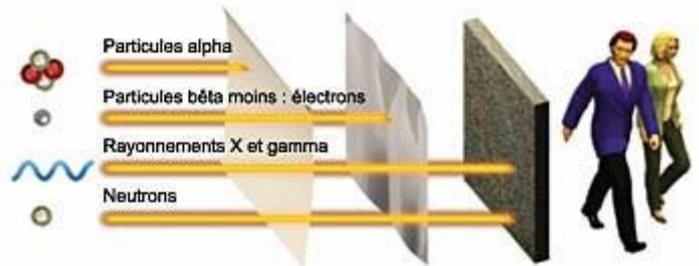
<http://www.cea.fr/jeunes/themes/la-radioactivite/l-homme-et-les-rayonnements/les-effets-biologiques-des-rayonnements>.

<http://www.cea.fr/jeunes/themes/la-radioactivite/l-homme-et-les-rayonnements/la-radioprotection>.

<http://www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/la-radioactivite/le-sievert>.

Document 2 : Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants

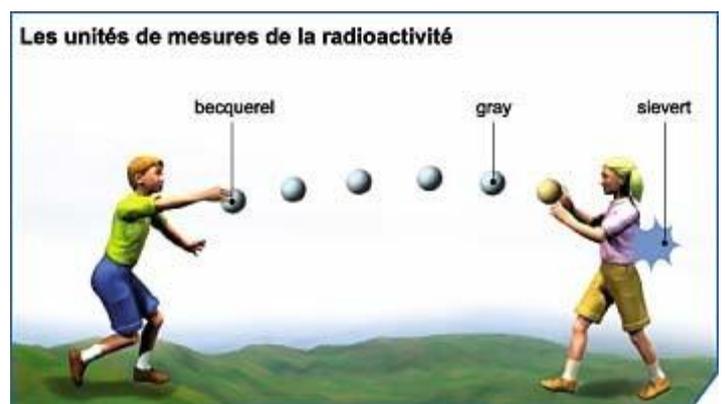
- **Particules alpha.** Pénétration très faible dans l'air. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter les noyaux d'hélium.
- **Particules bêta moins :** électrons. Pénétration faible. Parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.
- **Rayonnements X et gamma.** Pénétration très grande, fonction de l'énergie du rayonnement : plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de béton ou de plomb permet de s'en protéger.
- **Neutrons.** Pénétration dépendante de leur énergie. Une forte épaisseur de béton, d'eau ou de paraffine arrête les neutrons.

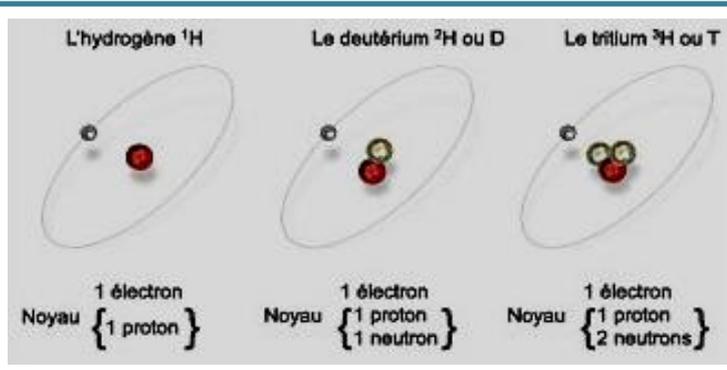


L'ÉNERGIE ABSORBÉE PAR LA MATIÈRE

Lorsqu'un rayonnement pénètre la matière, il interagit avec elle et lui transfère de l'énergie. La dose absorbée par la matière caractérise ce transfert d'énergie. L'unité de dose absorbée par la matière est le **gray (Gy)** qui est équivalent à un joule absorbé par kilogramme de matière.

Cette image permet de symboliser la relation entre les trois unités de mesure de la radioactivité : un enfant lance des objets en direction d'une camarade. Le nombre d'objets envoyés peut se comparer au becquerel (nombre de désintégrations par seconde) ; le nombre d'objets reçus par la camarade, au gray (dose absorbée) ; les marques laissées sur son corps selon la nature des objets, lourds ou légers, au sievert (effet produit).



Document 3 : LES ISOTOPES :**Document 4 : LES MESURES DE LA RADIOACTIVITÉ.****Le becquerel (Bq)**

Un échantillon radioactif se caractérise par son activité qui est le nombre de désintégrations de noyaux radioactifs par seconde qui se produisent en son sein. L'unité d'activité est le becquerel, de symbole Bq.

1 Bq = 1 désintégration par seconde. Cette unité est très petite. L'activité de sources radioactives s'exprimera donc le plus souvent en multiples du becquerel.

Le gray (Gy)

Cette unité permet de mesurer la quantité de rayonnements absorbés - ou dose absorbée - par un organisme ou un objet exposé aux rayonnements. Le gray a remplacé le rad en 1986.

• 1 gray = 100 rads = 1 joule par kilo de matière irradiée.

Le sievert (Sv)

Les effets biologiques des rayonnements sur un organisme exposé (selon sa nature et les organes exposés) se mesurent en sievert et s'expriment également en "équivalent de dose". L'unité la plus courante est le millisievert, ou millième de sievert.

Document 5 : Exemples de doses de rayonnements :

Nous sommes entourés d'un bain de rayonnements ionisants, provenant à la fois de l'espace (le rayonnement cosmique) et de la Terre (rayonnement tellurique). **En France, le niveau moyen (variable car l'exposition au radon est très variable selon la nature du sol) de l'exposition naturelle est de 2,4 mSv par an.**

Origine	Équivalent Dose annuelle	Remarque
Rayonnement cosmique au niveau de la mer	0,37 mSv	Un vol Paris-New York correspond à une exposition de 0,05 mSv
Exposition interne due à l'inhalation:		Variable car essentiellement due au radon
• Moyenne en France	1,40 mSv	222
• En Corrèze	5 à 6 mSv	Présence de roches très uranifères
Exposition interne due à l'ingestion	0,35 mSv	Essentiellement le potassium 40 et l'uranium 238 et ses descendants (radon)
Exposition externe d'origine tellurique:		Variable car la teneur des sols en éléments telluriques est très variable
• Moyenne en France	0,46 mSv	
• Dans la Corrèze	0,8 mSv	Présence de roches très uranifères

Document CEA

En dehors de l'irradiation naturelle, la principale cause d'exposition aux rayonnements ionisants est l'exposition médicale, durant des actes de diagnostic ou encore lors des traitements utilisant ces rayonnements (radiothérapie par exemple).

Examen	Dose
Radiographie du thorax (2 clichés)	0,1 mSv
Radiographie du bassin	1,2 mSv
Tomodensitométrie	2 – 10 mSv
Scintigraphie du myocarde au thallium 201	30 – 40 mSv

Document CEA

La protection des individus contre les dangers des rayonnements ionisants a pour objectif que l'exposition d'un individu reste en dessous d'un certain niveau, quelles que soient les sources de rayonnement. Ces limites sont établies en référence aux risques déterministes et aux effets stochastiques (cancers et effets héréditaires).

Document 6 : Effets pathologiques des rayonnements ionisants :

Comme les rayons X, les rayonnements α , β et γ sont ionisants¹ et donc dangereux. On distingue deux types d'effets des rayonnements ionisants : les effets déterministes et les effets stochastiques.

Effets déterministes

Lors d'une exposition à un rayonnement ionisant, si le nombre de cellules détruites est trop important, leur remplacement par la multiplication des cellules viables est insuffisant. Le déficit cellulaire qui en résulte entraîne des lésions tissulaires qui à leur tour altèrent la fonction de l'organe. Enfin, celle-ci peut entraîner des signes cliniques, voire la mort de l'individu.

Les **effets déterministes** sont ceux que l'on observe au-delà d'un seuil d'irradiation, qui correspond à une dose de 0,2 à 0,3 Gy. Ils sont appelés déterministes car ils se manifestent **toujours**.

Les effets déterministes sont **précoces** (ils se manifestent de quelques heures à un mois après l'exposition), **d'autant plus graves que la dose est importante, clairement décrits du point de vue symptomatique**.

Effets déterministes d'une exposition globale			
Dose (Gy)	Équivalent dose (mSv)	Effets	
0,3 – 1	1 000	nausées, vomissements	
1 – 3,5	3 000	épilation provisoire	
		<i>syndrome hématopoïétique</i> : atteinte des organes assurant le renouvellement des lymphocytes, des globules blancs et des plaquettes → hémorragies	
3,5 – 5,5	à	<i>dose létale 50</i> : 50% au moins des individus meurent d'hémorragies et d'infections	
5 – 7	6 000	stérilité définitive	
5,5 – 7,5		<i>syndrome gastro-intestinal</i> : atteinte des cellules de la muqueuse intestinale à fort taux de renouvellement → infections, mort si pas de greffe de moelle osseuse	
7,5 – 10	> 6000	atteinte des poumons	
> 10 – 15	> 10 000	<i>syndrome neurologique</i> : œdème cérébral et coma – mort en quelques jours	
	20 000	mort en quelques heures	
Effets déterministes d'une exposition partielle			
Dose (Gy)	Équivalent dose (mSv)	Organe	Effets
réponse « tout ou rien »			avant implantation (1 ^{er} – 8 ^e jour)
0,1	100	embryon	pendant l'organogenèse (9 ^e – 60 ^e jour)
0,1 – 0,2	100 - 200		stade fœtal (8 ^e à 15 ^e semaine) – Interruption grossesse envisagée si > 200 mSv
0,3 – 0,5	150	testicules*	stérilité provisoire
1		peau	fragilisation si exposition ultérieure
3		ovaires	stérilité provisoire
5	3500 – 6000	testicules	stérilité définitive
7	2500 – 6000	ovaires	stérilité définitive
5 – 10	5000	peau	épidermite exsudative
		cristallin	cataracte
15 – 20		peau	ulcération et nécrose aiguë – épilation définitive

Les effets stochastiques

Les **effets stochastiques** (cancérigène et génétique) sont les conséquences probabilistes à long terme de la transformation d'une cellule. Ils résultent de lésions mal réparées des molécules d'ADN. Ils n'ont **pas de seuil de dose**, sont **aléatoires** (ils n'apparaissent pas chez tous les individus) et ont une gravité apparemment indépendante de la dose reçue.

Les effets stochastiques posent un vrai problème de radioprotection. En effet, hormis les expositions exceptionnelles à de fortes doses qui ne peuvent relever que d'un incident voire un accident, ce sont les expositions aux faibles doses qu'il faut gérer.

Limites de doses

En France, la radioprotection relève de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) devenue depuis mai 2006 une autorité indépendante, avec l'appui technique de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). Les études in vitro sur les animaux et épidémiologiques ont amené les autorités de sûreté nucléaire à adopter les limites réglementaires suivantes pour la somme des doses d'exposition d'origine artificielle :

		Public	Travailleurs en situation normale
Exposition globale		1 mSv/an	20 mSv sur 12 mois consécutifs (35 mSv, de façon transitoire pendant 2 ans)
	Cristallin	15 mSv/an	150 mSv/an
Exposition partielle	Peau (1cm ²)	50 mSv/an	500 mSv/an

13. Expliquer pourquoi la protection des cabines contre les rayonnements est primordiale lors des voyages en avion ?
14. Quelle différence y a-t-il entre un risque déterministe et un risque stochastique ?
15. Citer un effet stochastique et un effet déterministe des rayonnements ionisants.
16. Quelles sont les valeurs pour les doses équivalentes suivantes :
 - seuil d'apparition d'un effet déterministe.
 - exposition naturelle.
 - limite réglementaire pour une personne ne travaillant pas en zone soumise à des rayonnements.
17. Que signifie que les risques stochastiques n'ont pas de seuil de dose ?
18. Un patient subissant un scanner reçoit une dose équivalente pouvant atteindre 10 mSv. Cette dose est-elle dangereuse ?
19. Lors de la catastrophe de Fukushima au Japon en 2011, des pics de débits de dose ont atteint 400 mSv par heure. Calculer la durée nécessaire à atteindre le seuil de 1 Sv.
20. A l'aide du doc3. donner la définition de ce que sont des isotopes.