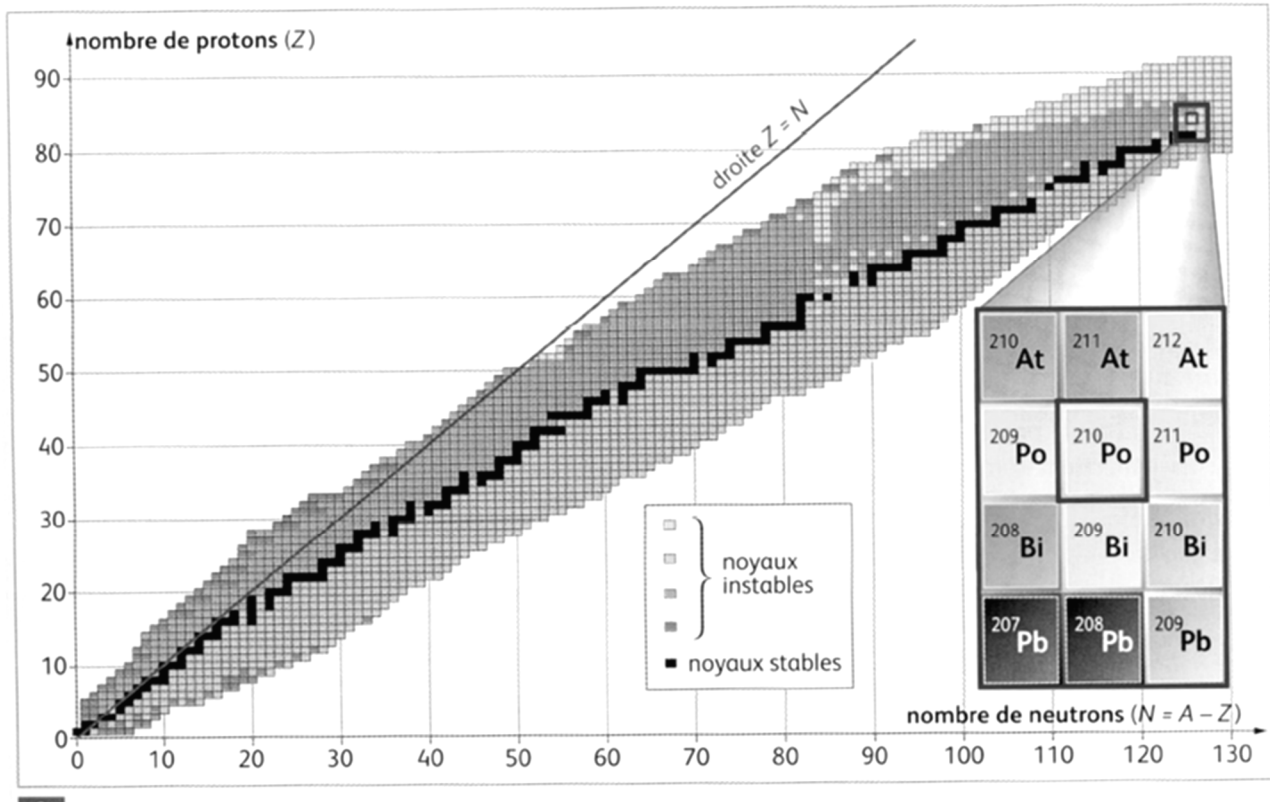


3. La radioactivité

3.1. Présentation de la radioactivité

Visionner la vidéo "Vers la vallée de la stabilité (CEA)" (lien dans l'ENT) <https://youtu.be/RuoBXXoeTvg>

Le graphe présenté dans la vidéo s'appelle le diagramme de Segré. On y place tous les noyaux possibles chacun dans une case différente. Les coordonnées d'une case étant en abscisse le nombre de neutrons et en ordonnées le nombre de protons.



Un diagramme de Segré interactif est disponible à l'adresse suivante : <https://segree.web-labosims.org/index.html> disponible via l'ENT pour obtenir des informations sur chaque noyau.

Questions :

1. Dans le diagramme de Segré, que peut-on dire des noyaux situés sur une même ligne ?

Les noyaux d'une même ligne ont la même ordonnée, ils ont le même nombre de protons, ce sont tous les isotopes d'un élément chimique

2. Parmi tous les noyaux possibles, lesquels sont les plus abondants, les noyaux stables ou instables ?

Sur ce diagramme on voit bien que très peu d'atomes ont des noyaux stables. Il y a bien plus de noyaux instables.

Remarque : toutefois, la question était mal formulée car dans la nature les noyaux instables sont peu abondants puisque par nature, ils n'existent pas longtemps.

3. Comment nomme-t-on la courbe qui se dessine avec les noyaux stables ?

La courbe des noyaux stables s'appelle la vallée de la stabilité

4. Lorsqu'un noyau est instable, que se passe-t-il ?

La composition d'un noyau instable va spontanément changer, cela s'appelle une désintégration radioactive. Le noyau qui se forme après la désintégration est plus stable que le noyau d'origine

À retenir : Définir le terme radioactivité :

La radioactivité est le phénomène physique qui touche les noyaux instables. C'est une réaction nucléaire. Les noyaux instables voient spontanément leur composition évoluer au cours d'une désintégration radioactive qui aboutit à la formation d'un nouveau noyau, plus stable. Cette désintégration s'accompagne de l'émission de particules et de rayonnement dangereux.

3.2. La découverte de la radioactivité naturelle

Visionner la vidéo : <https://youtu.be/clRcF7emyiM> (3 min)

Questions :

1. Quel scientifique a découvert le phénomène de la radioactivité ?

C'est Henry Becquerel qui a découvert le phénomène de la radioactivité

2. Citer d'autres scientifiques qui ont travaillé sur la radioactivité.

Pierre et Marie Curie ont également travaillé sur le sujet

3. Quelle récompense prestigieuse a couronné les travaux de ces scientifiques ?

Tous les trois ont obtenu le prix Nobel de physique

4. Expliquer en quelques lignes l'erreur qui, correctement analysée, a permis de découvrir la radioactivité.

Henri Becquerel travaillait sur la fluorescence. Un corps fluorescent émet de la lumière après avoir été éclairé. L'uranium est un corps fluorescent.

Pour l'étudier, Becquerel le soumet au rayonnement solaire, puis étudie la réémission de lumière avec des plaques photographiques.

Un jour de mauvais temps, pas de soleil, donc il ne peut pas faire son expérience, et il range l'uranium et le papier photographique ensemble. C'est "l'erreur" qui lui a permis de découvrir la radioactivité. Quelques temps plus tard, il reprend sa plaque photographique qui a priori n'a pas reçu de lumière puisque l'uranium n'a pas vu le soleil. Et pourtant il décide de la développer et il se rend compte qu'elle a été impressionnée.

Ce n'est pas normal. Il va étudier ce phénomène pour comprendre ce qu'il s'est passé.

5. Dans la vidéo, un danger de la radioactivité est décrit. Quel est-il ?

Dans la vidéo, Becquerel et Pierre Curie ont été brûlés par des roches radioactives

6. En connaissez-vous d'autres ?

La radioactivité peut provoquer l'apparition de cancers.

3.3. La démarche scientifique

Visionner la vidéo <https://youtu.be/hoa2jdUJ1Bg> (7 min)

Questions :

1. Citez des domaines de l'activité humaine utilisant ou produisant de la radioactivité.

Les domaines produisant de la radioactivité et des déchets radioactifs sont les domaines qui utilisent la fission nucléaire : les armes nucléaires et les centrales nucléaires

Les domaines utilisant la radioactivité sont la médecine nucléaire (imagerie : scintigraphie, TEP) ou soin (radiothérapie) ; on peut également utiliser la radioactivité dans l'agroalimentaire pour la conservation des aliments.

Ces deux domaines produisent donc eux aussi des déchets radioactifs.

2. Cette vidéo montre les principales étapes de la démarche scientifique. Elles sont explicitées à la fin de la vidéo. Citer les étapes de la démarche scientifique et, pour chacune, l'illustrer avec les travaux de Becquerel.

La démarche scientifique peut se décomposer ainsi :

- 1- **Observation d'un phénomène** (ou étude d'une problématique) dans le cas de Becquerel c'est l'observation inattendue d'une marque sur sa plaque photographique
- 2- **Élaborations d'hypothèses** : Becquerel pense tout d'abord que l'uranium avait emmagasiné de l'énergie lumineuse même avec un temps couvert
- 3- **Expérimentation** : Il faut imaginer une ou plusieurs expériences rigoureuses permettant de confirmer ou d'infirmer les hypothèses. : ici Becquerel isole son uranium dans une boîte de plomb totalement noire pendant plusieurs semaines, pour éliminer l'éventuel rayonnement solaire et vérifier qu'il n'y a plus d'impression sur le papier photo.
Il faut faire plusieurs fois les expériences pour être sûr des résultats et noter les observations systématiquement.

En l'occurrence, cette expérience montre que même en l'absence de lumière, l'uranium émet un rayonnement qui impressionne la plaque photo.

Cette observation conduit Becquerel à poser de nouvelles hypothèses et faire de nouvelles expériences.

4- Conclusion et élaboration d'une théorie

Après plusieurs cycles d'hypothèse + expérimentation, une fois tous les résultats collectés et analysés, on peut en tirer une conclusion et élaborer une théorie : ici l'uranium émet son propre rayonnement, avec ou sans exposition au soleil : il est RADIOACTIF.

Quelques informations pour les curieux (hors programme)

Il existe trois types de radioactivités différentes.

- Radioactivité α : un gros noyau instable perd simultanément 2 protons et 2 neutrons sous la forme d'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$. La particule libérée, le noyau d'hélium, est aussi appelé particule α . La particule α est facilement stoppée. Une feuille de papier suffit à l'arrêter.
- Radioactivité β^- : au sein du noyau instable, un neutron se transforme en proton. Simultanément, il y a création et libération d'un électron vers l'extérieur, c'est la particule ${}^0_{-1}e$ (charge négative -1 et nucléon 0). L'électron est une petite particule qui pénètre facilement les tissus et rejoint les cortèges électroniques des molécules, les transformant en ions, et perturbant ainsi leur action. Il faut une épaisseur de métal pour s'en protéger.
- Radioactivité β^+ : au sein du noyau, un proton se transforme en neutron. Simultanément, il y a création et libération d'un positon (ou positron) vers l'extérieur, c'est la particule 0_1e (particule de charge positive +1 mais qui n'est pas un nucléon : $A = 0$). Le positon est une particule dangereuse. Comme l'électron il pénètre facilement les tissus. Mais de plus, c'est l'antiparticule de l'électron : lorsqu'un positon rencontre un électron, une grande énergie est libérée sous forme de rayonnement γ

En plus de l'émission d'une particule, toute désintégration radioactive s'accompagne de l'émission de rayonnement invisible de très courte longueur d'onde appelé rayonnement γ extrêmement pénétrant, très énergétique et dangereux

Quand une désintégration a lieu dans l'air et qu'on en a conscience, il est relativement facile de s'en protéger (vitre de protection, port de vêtements adaptés, tablier de plomb, épaisseur de béton etc...).

Si l'exposition est inattendue (accident nucléaire type Fukushima ou Tchernobyl) il est impossible de s'en protéger, c'est un danger invisible.

Du plus, quand la désintégration radioactive a lieu dans les poumons ou dans l'estomac, suite à une ingestion ou une inhalation, c'est encore plus dangereux car la radioactivité est immédiatement au contact des tissus. C'est une contamination interne.

La radioactivité est un phénomène naturel qui existe autour de nous. Elle est due à des éléments radioactifs naturellement présents sur Terre (le carbone 14, le potassium 40, le radon 222 etc).

A faible dose, les êtres vivants réparent sans difficulté les dégâts minimes qu'elle provoque.

Mais l'être humain exploite les réactions nucléaires et crée de nouvelles sources de radioactivité (déchets des centrales nucléaires, médecine nucléaire) qui émettent davantage de rayonnements nocifs que les seules sources naturelles.

Le traitement et le stockage des déchets radioactifs est un enjeu de société majeur, source de polémiques.

3.4. Notion de demi-vie

Selon son éloignement par rapport à la vallée de la stabilité, un noyau, même instable peut "tenir" longtemps avant de se désintégrer.

À savoir : Chaque noyau instable se désintègrera forcément, c'est **inélucltable**. Mais le moment de cette désintégration n'est pas prévisible, il est **aléatoire**.

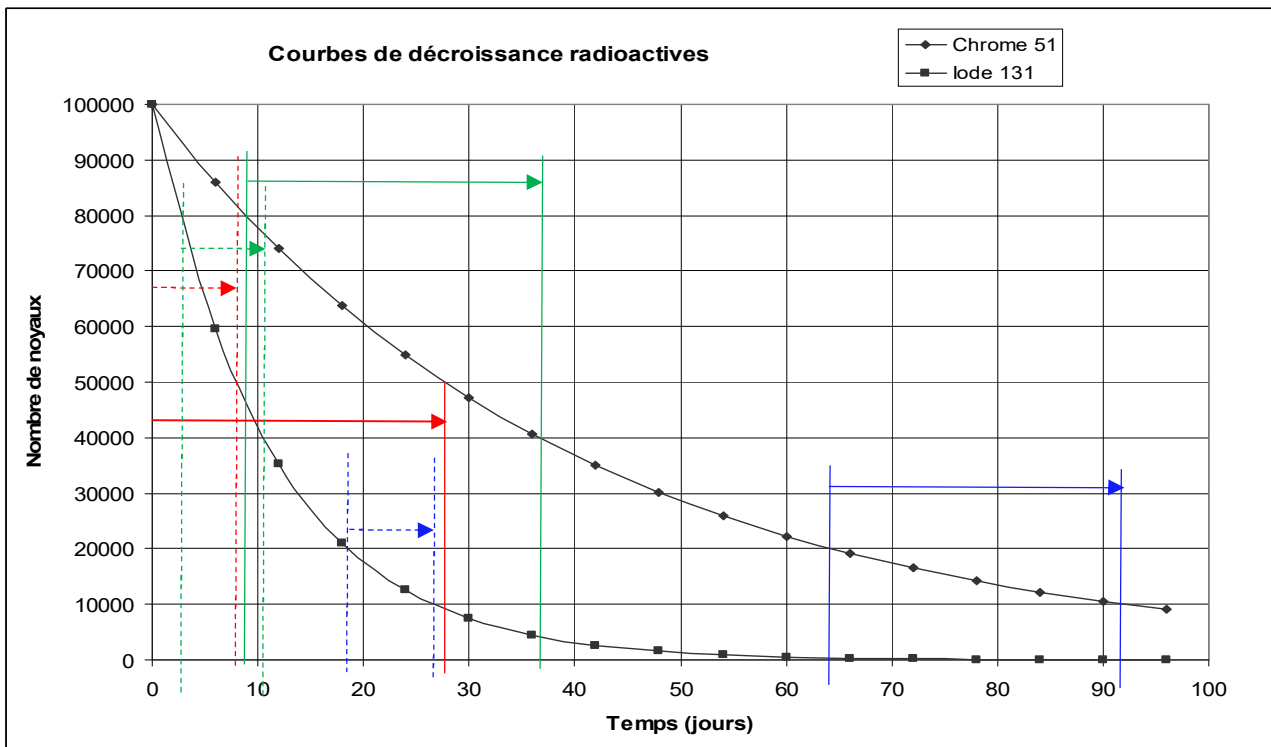
Un échantillon de matière contient plusieurs milliards de noyaux.

Même si, pour chaque noyau, la désintégration est aléatoire, sur une grande population, on a des comportements statistiques qui apparaissent.

ACTIVITÉ : DÉCROISSANCE RADIOACTIVE

On s'intéresse aux noyaux suivants : ${}^{51}_{24}\text{Cr}$ et ${}^{131}_{53}\text{I}$, deux noyaux instables.

Pour un échantillon donné contenant initialement 100 000 noyaux de chrome 51 (${}^{51}_{24}\text{Cr}$) ou 100 000 noyaux d'iode 131 (${}^{131}_{53}\text{I}$), on peut représenter graphiquement, l'évolution du nombre de noyaux au cours du temps. Cette courbe caractéristique s'appelle la courbe de décroissance radioactive.



1. Compléter les deux équations de désintégration radioactives de ces radioéléments en respectant les règles déjà rappelées dans la partie 1. du cours.



2. Pourquoi les courbes obtenues sont-elles des courbes **décroissantes** ?

On suit le nombre de noyaux d'une espèce radioactive. Comme elle est radioactive, les noyaux se désintègrent progressivement, il y en a de moins en moins (en contrepartie, simultanément, il y a de plus en plus d'un autre élément stable qui se forme : ${}^{51}_{23}\text{V}$ ou ${}^{131}_{54}\text{Xe}$)

3. Pour le chrome 51 :

- Graphiquement, déterminer la durée nécessaire pour passer de 100000 à 50000 noyaux (faire les constructions nécessaires en rouge) **de t = 0 à t = 28 j, il y a 28 jours**
- Graphiquement, déterminer la durée nécessaire pour passer de 80000 à 40000 noyaux (faire les constructions nécessaires en vert) **de t = 8 à t = 36 j, il y a 28 jours**
- Graphiquement, déterminer la durée nécessaire pour passer de 20000 à 10000 noyaux (faire les constructions nécessaires en bleu) **de t = 64 à t = 92 j, il y a 28 jours**

Que remarque-t-on ? **Le point commun des trois constructions demandées est qu'on divise à chaque fois le nombre de noyaux de chrome par 2 (de 100 000 à 50 000 ou bien de 20 000 à 10 000). On constate qu'il**

faut toujours la même durée de 28 jours pour que le stock de noyaux de chrome radioactif soit divisé par deux.

4. Mêmes questions pour l'iode 131 :

- durée nécessaire pour passer de 100000 à 50000 noyaux (en rouge) : **de t = 0 à t = 8 j il y a 8 jours**
- durée nécessaire pour passer de 80000 à 40000 noyaux (en vert) **de t = 3 à t = 11 j il y a 8 jours**
- durée nécessaire pour passer de 20000 à 10000 noyaux (en bleu) **de t = 28 à t = 36 j il y a 8 jours**

Que remarque-t-on ?

Là aussi, il faut toujours la même durée pour diviser le nombre de noyaux d'iode par deux. Mais cette durée est différente de celle qui caractérise le chrome 51.

La grandeur que vous venez de découvrir s'appelle la demi-vie. Elle a une valeur différente selon l'élément radioactif qui se désintègre. Elle est caractéristique de chaque noyau radioactif.

5. Selon vous, lequel des deux radioéléments étudiés est le plus instable ? Justifier

L'iode 131 est plus instable que le chrome 131 car le stock de noyaux instable disparaît plus vite.

À retenir : La demi-vie ($t_{1/2}$) d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux présents dans un échantillon se désintègrent. Cette valeur est propre à chaque radioélément et rend compte de sa probabilité de désintégration. Plus un noyau est instable, plus sa demi-vie est courte.

6. Pour un noyau de demi-vie $t_{1/2}$, quelle est la durée au bout de laquelle le nombre de noyaux restant est égal à $\frac{1}{4}$ des noyaux présents au départ.

Au bout d'une durée $t_{1/2}$, le nombre initial N_0 de noyaux est divisé par deux. Il en reste $\frac{N_0}{2}$ soit $\frac{1}{2}$ des noyaux initialement présents

Au bout d'une autre demi-vie, on redivise la quantité de noyaux par deux. On passe de $\frac{N_0}{2}$ à $\frac{N_0}{4}$, il en reste maintenant $\frac{1}{4}$

Il faut une durée égale à deux demi-vies : $t = 2 \times t_{1/2}$ pour passer d'un nombre N_0 de noyaux à $N_0/4$ et n'avoir plus que $\frac{1}{4}$ des noyaux présents

7. Combien de noyaux reste-t-il au bout d'une durée égale à $3 \times t_{1/2}$? Et au bout de $n \times t_{1/2}$?

En suivant le raisonnement précédent : au bout de $2 \times t_{1/2}$ on en était à $\frac{1}{4}$. Avec une demi-vie de plus, on divise encore par deux et on arrive à la moitié du quart : $\frac{1}{8}$ Il reste $\frac{N_0}{8}$,

En continuant à diviser par 2 à chaque demi-vie :

Au bout de n demi-vies $t = n \times t_{1/2}$, on a divisé n fois par 2

$$\text{le nombre de noyaux restant est } N = N_0 \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \dots$$

C'est-à-dire au bout de $t = n \times t_{1/2}$ le nombre de noyaux est $N = N_0 \times \frac{1}{2^n}$

8. Graphiquement, évaluez le temps nécessaire à désintégrer 80% des noyaux de $^{51}_{24}\text{Cr}$

Si on désintègre 80% des noyaux, il en reste 20%. On est parti avec 100 000 noyaux, il en reste 20 000.

Lecture graphique : pour $N = 20\ 000$, on lit $t = 64$ jours

9. Calculer combien de demi-vies sont au minimum nécessaires pour n'avoir plus que 5% des noyaux radioactifs encore présents.

A chaque demi-vie on divise le nombre de noyaux par 2

Au bout de 1 demi-vie, il reste 50% des noyaux

Au bout de 2 demi-vies, il reste 25% des noyaux

Au bout de 2 demi-vies, il reste 12,5% des noyaux

Au bout de 2 demi-vies, il reste 6,25% des noyaux

Au bout de 2 demi-vies, il reste 3,125% des noyaux

Il faut entre 4 et 5 demi-vies pour avoir moins de 5% des noyaux restants.

Il faut donc au moins 5 demi-vies.

Pour aller plus loin (facultatif)

Valeurs de quelques demi-vies

Noyau père	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{14}_6\text{C}$	$^{131}_{53}\text{I}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{137}_{55}\text{Cs}$	$^{94}_{38}\text{Sr}$	$^{139}_{54}\text{Xe}$
Demi-vie $t_{1/2}$	$4,6 \cdot 10^9$ ans	5700 ans	8,1 j	$7 \cdot 10^8$ ans	30 ans	75 s	39 s

On estime qu'au bout d'une durée égale à $10 \times t_{1/2}$ l'élément radioactif n'est plus présent qu'à l'état de traces.

- Sachant que l'âge de la Terre est estimé à 4,5 milliards d'années, expliquer pourquoi on trouve toujours de l'uranium sur Terre alors que c'est un isotope radioactif

La demi-vie de l'uranium 238 est égale à l'âge de la Terre (4,6 milliards d'années). En ce moment on a deux fois moins d'uranium sur Terre qu'au moment de sa création, mais il en reste encore.

Pour l'uranium 235, sa demi-vie est égale à 700 millions d'années. L'âge de la terre vaut un peu plus de 6 fois la demi-vie. Il ne reste plus que quelques pourcents de l'uranium 235 qui était présent à la création de la Terre.

- On trouve sur Terre du carbone 14. En quoi est-ce surprenant ? Proposer une explication.

La demi-vie du carbone 14 est très faible par rapport à l'âge de la Terre (5500 ans). On ne devrait plus en trouver sur Terre.

Comme on en trouve, c'est qu'il est sans doute produit quelque part sur Terre.

En effet, il est produit dans l'atmosphère où les particules solaires transforment l'azote 14 en carbone 14.

Dans les centrales nucléaires, de nombreux noyaux radioactifs sont produits dans les réacteurs, ils n'ont pas d'intérêt pour la production d'électricité mais on ne peut pas éviter leur apparition (produits secondaires). Les demi-vies des noyaux radioactifs formés dans les centrales vont de quelques secondes (xénon 139, strontium 94), à plusieurs millions d'années (uranium 235), en passant par des valeurs intermédiaires (8 j pour l'iode 131, 30 ans pour le césium 137). Ce large éventail de demi-vies est un problème dans le traitement des déchets radioactifs. Voir la vidéo : <https://youtu.be/HrBJaSA8RL0> (lien sur l'ENT)

- L'accident de Tchernobyl a eu lieu en 1986. On observe encore actuellement une contamination des sols et donc des chaînes alimentaires qui interdit la réinstallation des populations autour de Tchernobyl. Parmi les noyaux cités, lesquels peuvent être responsables de cette contamination du sol ?

L'accident de Tchernobyl a eu lieu en 1986 soit il y a 35 ans.

Au bout de 10 demi-vies on considère que l'isotope radioactif a disparu.

Tous les isotopes qui ont une demi-vie plus grande que 3 ans et demi sont encore présent autour des lieux de l'accident : uranium 235, césium 137