

### 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**.

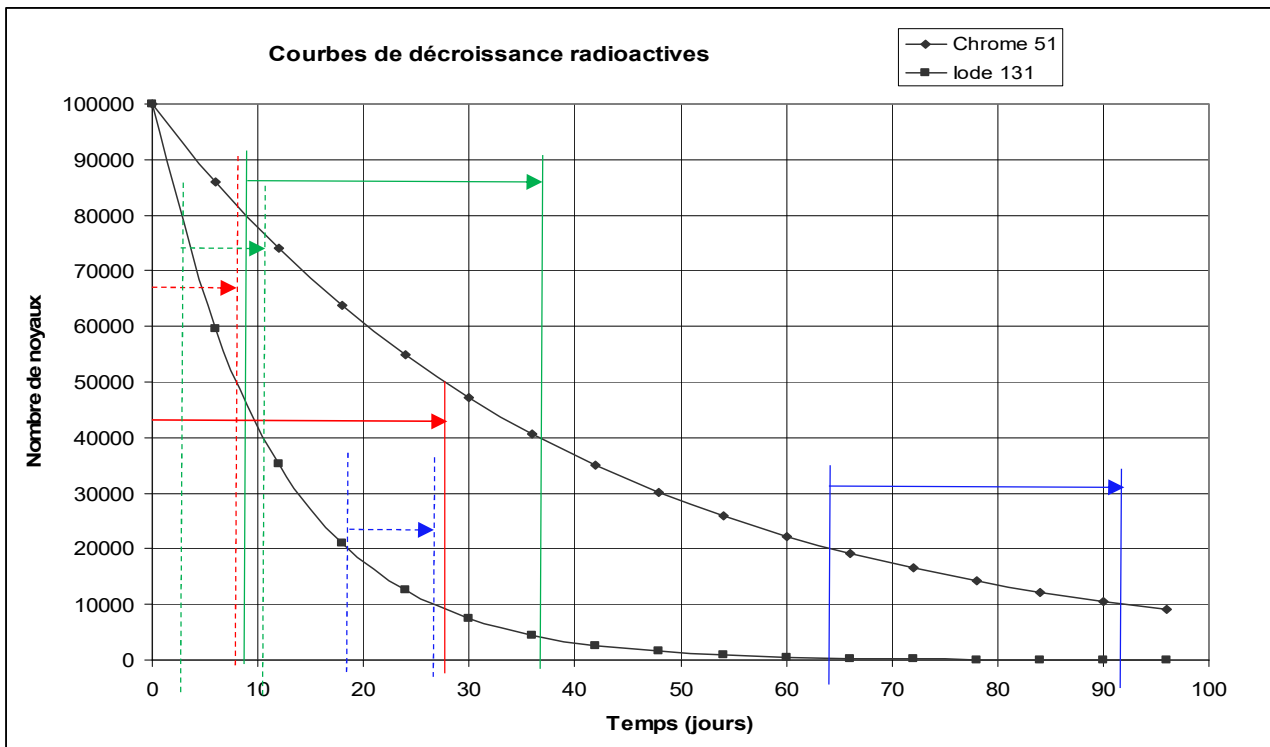
Un échantillon de matière contient plusieurs milliards de noyaux.

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

**ACTIVITE : DECROISSANCE RADIOACTIVE**

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

Pour un échantillon donné contenant initialement 100 000 noyaux de chrome 51 ( ${}_{24}^{51}\text{Cr}$ ) ou 100 000 noyaux d'iode 131 ( ${}_{53}^{131}\text{I}$ ), 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 :  ${}_{23}^{51}\text{V}$  ou  ${}_{54}^{131}\text{Xe}$ )**

3. Pour le chrome 51 :

- Graphiquement, déterminer la durée nécessaire pour passer de 100 000 à 50 000 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 80 000 à 40 000 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 20 000 à 10 000 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**