

COURS

Radioactivité et noyau atomique

3^e

Programme du cycle 4 — arrêté du 9 novembre 2015, BO spécial n°11 du 26 novembre 2015

Un noyau radioactif ne **vieillit pas**. Il n'est ni fatigué au bout d'un siècle, ni plus proche de sa fin qu'à sa naissance : à chaque instant, il a exactement la même chance de se désintégrer. C'est cette indifférence au passé qui rend la **demi-vie** si régulière — et qui permet, à partir d'un morceau de charbon, de dire en quelle année un feu a brûlé.

1 Le noyau atomique et sa notation

DÉFINITION

Le noyau d'un atome contient des **protons**, chargés positivement, et des **neutrons**, sans charge. Les uns et les autres s'appellent des **nucléons**. Le **numéro atomique** Z compte les protons et détermine l'élément chimique. Le **nombre de masse** A compte **tous** les nucléons. Le nombre de neutrons s'en déduit par une soustraction.

$$N = A - Z$$

EXEMPLE

Le carbone 14 s'écrit avec $Z = 6$ et $A = 14$. Donner la composition de son noyau.

- ① Le numéro atomique donne directement le nombre de protons : il y en a **6**. C'est ce qui en fait un atome de carbone, et rien d'autre.
- ② Le nombre de neutrons s'obtient par différence :
 $14 - 6 = 8$
- ③ Le noyau compte donc 6 protons et 8 neutrons, soit 14 nucléons au total — ce que dit précisément le nombre 14 de son nom.

6 protons et 8 neutrons

LE PIÈGE QUI COÛTE LE PLUS DE POINTS

Lire le nombre de masse A comme le nombre de neutrons. — A compte **tous** les nucléons, protons compris. Pour l'uranium 235, répondre « 235 neutrons » revient à oublier les 92 protons, soit près de 40 % du noyau. L'erreur se glisse d'autant plus facilement que le nombre du nom est bien A .

Le réflexe : Écrire systématiquement la soustraction $N = A - Z$ sur la copie, même quand elle paraît évidente. Un neutron ne se compte jamais directement, il se déduit.

2 Les isotopes

DÉFINITION

Deux noyaux sont **isotopes** lorsqu'ils ont le **même nombre de protons** et un **nombre de neutrons différent**. Ils appartiennent donc au même élément chimique — même Z — mais n'ont pas la même masse. Le carbone 12, le carbone 13 et le carbone 14 sont trois isotopes du carbone.

Deux isotopes ont les **mêmes propriétés chimiques**, parce que la chimie ne dépend que des électrons, donc de Z . Ils peuvent en revanche avoir des comportements **nucléaires** radicalement différents : l'uranium 238 n'entretient pas de réaction en chaîne, l'uranium 235 si. C'est toute la difficulté de l'enrichissement de l'uranium — séparer deux isotopes que la chimie ne distingue pas.

3 La radioactivité et ses trois rayonnements

DÉFINITION

Certains noyaux sont **instables** : ils se transforment spontanément en un autre noyau en émettant un rayonnement. Ce phénomène est la **radioactivité**. Il est **aléatoire** — on ne sait pas quel noyau se désintégrera ni quand — et **inévitable** : rien, ni la température, ni la pression, ni une réaction chimique, ne l'accélère ni ne le ralentit.

RÈGLE

Trois désintégrations sont au programme. La radioactivité **alpha**, notée α , émet un noyau d'hélium : le noyau perd 4 nucléons dont 2 protons. La radioactivité **beta** moins, notée β^- , émet un électron : un neutron se transforme en proton, donc A ne change pas et Z augmente de 1. Le rayonnement **gamma**, noté γ , est une onde très énergétique : il ne modifie **ni A ni Z** , il évacue seulement l'excès d'énergie du noyau.

EXEMPLE

L'uranium 238 ($Z = 92$) subit une désintégration α . Identifier le noyau formé.

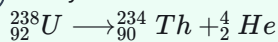
- ① L'émission d'un noyau d'hélium retire 4 nucléons :

$$238 - 4 = 234$$

- ② Elle retire aussi 2 protons :

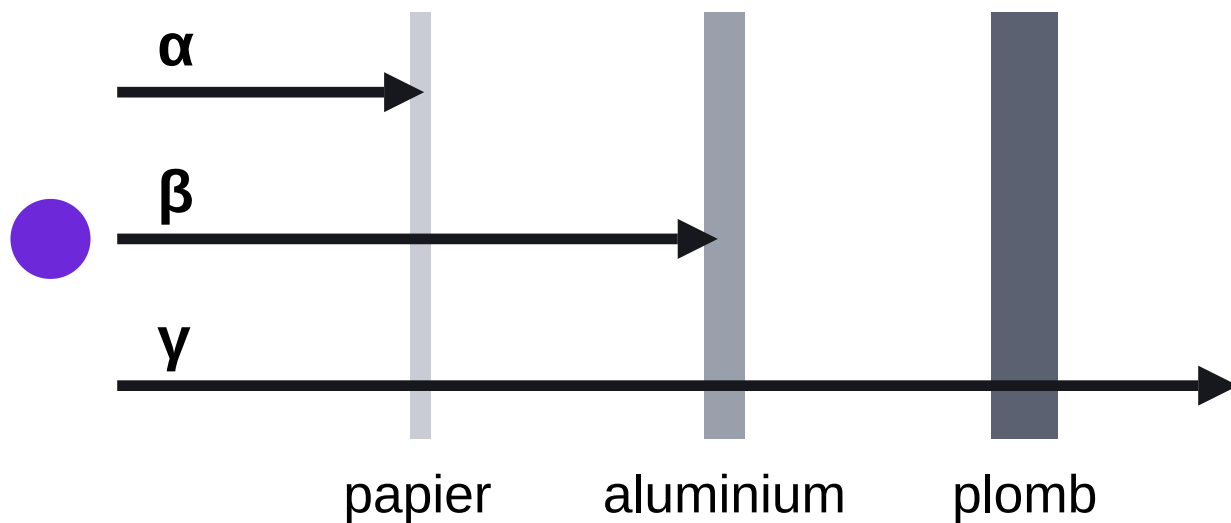
$$92 - 2 = 90$$

- ③ Le noyau formé a donc $Z = 90$: c'est du **thorium**, et son nombre de masse est 234.



- ④ Contrôle indispensable : la somme des nombres de masse et celle des numéros atomiques se conservent de part et d'autre de la flèche.

du thorium 234, accompagné d'un noyau d'hélium



Pouvoir de pénétration : une feuille de papier arrête α , quelques millimètres d'aluminium arrêtent β , seul un écran épais de plomb atténue γ .

EXEMPLE

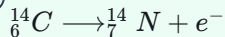
Le carbone 14 ($Z = 6$) est radioactif β^- . Identifier le noyau formé.

- ① En β^- , un neutron devient un proton : le nombre total de nucléons ne bouge pas, donc A reste égal à 14.

- ② Le nombre de protons augmente de 1 :

$$6 + 1 = 7$$

- ③ L'élément de numéro atomique 7 est l'**azote**. Le carbone 14 se transforme donc en azote 14, en émettant un électron.

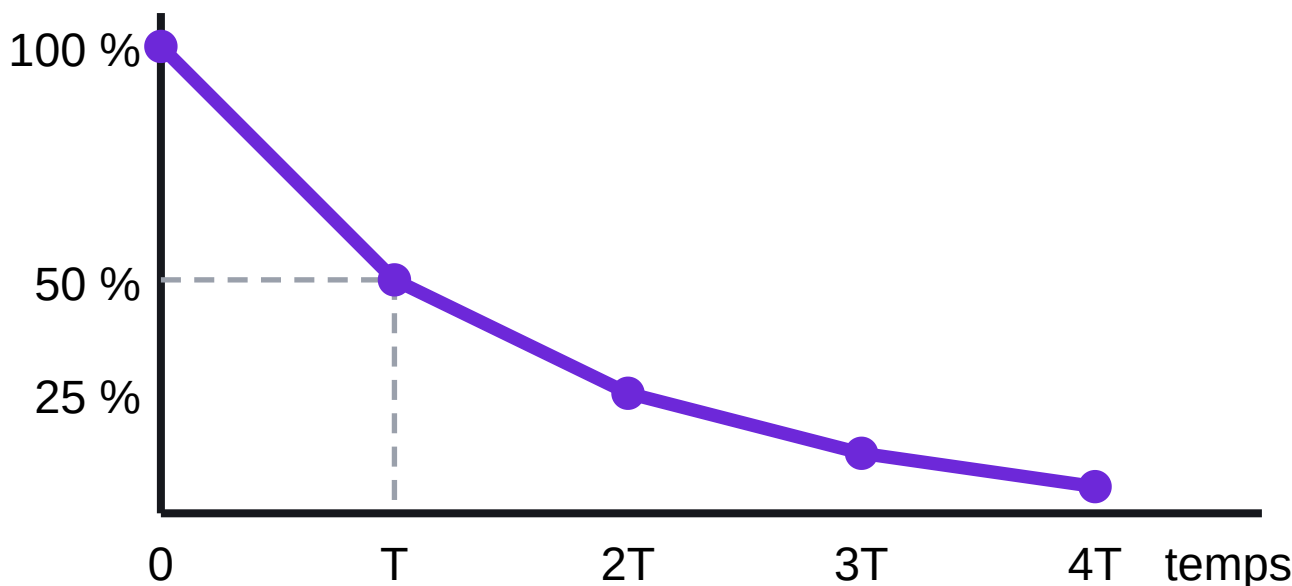


de l'azote 14, accompagné d'un électron

4 La demi-vie

DÉFINITION

La **demi-vie** d'un noyau radioactif est la durée au bout de laquelle **la moitié** des noyaux présents se sont désintégrés. Elle est propre à chaque isotope et va de la fraction de seconde à des milliards d'années : 8 jours pour l'iode 131, 5 730 ans pour le carbone 14, 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238.



Décroissance radioactive : à chaque demi-vie, il reste la moitié de ce qu'il y avait. La courbe s'approche de zéro sans jamais l'atteindre.

CALCULER CE QU'IL RESTE APRÈS UNE DURÉE DONNÉE

- ① Diviser la durée écoulée par la demi-vie pour obtenir le **nombre de demi-vies**.
 $24 \div 8 = 3$
- ② Diviser la quantité initiale par 2 autant de fois que ce nombre l'indique.
 $800 \div 2 \div 2 \div 2 = 100$
- ③ Écrire la suite complète sur la copie — 800, 400, 200, 100 — plutôt que d'aller directement au résultat : elle vaut démonstration.
- ④ Contrôler que la quantité restante est bien **inférieure** à la précédente et **jamais nulle**.

LE PIÈGE QUI COÛTE LE PLUS DE POINTS

Conclure qu'après deux demi-vies, il ne reste plus rien du tout. — La moitié de la moitié fait un **quart**, pas zéro. À chaque demi-vie on reprend la moitié de ce qui reste, si bien que la quantité décroît sans jamais s'annuler. C'est ce qui rend les déchets nucléaires à longue demi-vie si difficiles à gérer : ils ne « finissent » pas.

Le réflexe : Écrire la suite des valeurs plutôt que de raisonner en pourcentages soustraits : 100 %, puis 50 %, puis 25 %, puis 12,5 %. Chaque terme est la moitié du précédent, et non 50 % de moins que le départ.

5 Fission, fusion et applications

DÉFINITION

La **fission** est la **cassure** d'un noyau lourd — l'uranium 235 — heurté par un neutron. Elle produit deux noyaux plus légers, quelques neutrons et une grande quantité d'énergie. Les neutrons libérés peuvent provoquer d'autres fissions : c'est la **réaction en chaîne**, qu'un réacteur de centrale contrôle en absorbant une partie de ces neutrons.

DÉFINITION

La **fusion** est l'**assemblage** de deux noyaux très légers — des isotopes de l'hydrogène — en un noyau plus lourd, avec libération d'énergie. C'est la réaction qui fait briller le Soleil et toutes les étoiles. Sur Terre, elle exige des températures de plusieurs millions de degrés, et aucune installation ne produit encore d'électricité par ce moyen.

Les deux se distinguent par une phrase : la **fission casse**, la **fusion assemble**. Elles se distinguent aussi par leurs déchets. La fission produit des noyaux radioactifs à longue demi-vie, qu'il faut isoler pendant des milliers d'années ; la fusion n'en produit pas de comparable, ce qui explique l'effort de recherche international engagé sur cette voie.

RÈGLE

Trois moyens, et trois seulement, réduisent l'exposition à un rayonnement : diminuer le **temps** passé à proximité, augmenter la **distance** à la source, interposer un **écran** adapté au rayonnement. Ils s'appliquent dans cet ordre en radiologie comme en centrale, et le choix de l'écran dépend du rayonnement — le papier ne sert à rien contre les γ .

À VÉRIFIER

- Ai-je bien lu A comme le nombre **total** de nucléons, et calculé $N = A - Z$?
- Mes deux noyaux isotopes ont-ils le **même** Z et un A différent ?
- Dans mon équation, la somme des A et celle des Z se conservent-elles des deux côtés ?
- α retire 4 nucléons et 2 protons · β^- garde A et ajoute 1 à Z · γ ne change rien.
- Ai-je divisé la durée par la **demi-vie** avant de diviser la quantité par 2 ?
- Ai-je écrit la suite des valeurs, et vérifié qu'elle ne tombe jamais à zéro ?
- **Fission** = casser un noyau lourd · **fusion** = assembler deux noyaux légers.

À RETENIR

- Z compte les **protons**, A compte **tous les nucléons**, et $N = A - Z$ donne les neutrons.
- **Isotopes** : même Z , A différent — même chimie, comportement nucléaire différent.
- Trois rayonnements : **alpha** (α), **beta** (β) et **gamma** (γ) — et ils ne font pas la même chose au noyau.
- α : A perd 4, Z perd 2 (noyau d'hélium émis).
- β^- : A inchangé, Z gagne 1 (un neutron devient proton, un électron est émis).
- γ : ni A ni Z ne changent — seule de l'énergie est évacuée.
- Dans toute équation, la somme des A et celle des Z se **conservent**.
- **Demi-vie** : durée au bout de laquelle la moitié des noyaux se sont désintégrés.
- Après n demi-vies, il reste la quantité initiale divisée par 2 autant de fois — jamais zéro.
- **Fission** : on casse un noyau lourd (centrales). **Fusion** : on assemble deux noyaux légers (Soleil).
- Se protéger : **temps**, **distance**, **écran** — et l'écran dépend du rayonnement.
- Pénétration croissante : α (papier) < β (aluminium) < γ (plomb épais).