

L'atome et son noyau : objectifs

La candidate, le candidat est capable de¹ :

Noyau de l'atome

- Décrire les constituants de l'atome et la structure du noyau ;
- Justifier la nécessité de la force nucléaire ;

Radioactivité

- Nommer les particules émises et les noyaux filles lors d'une désintégration α , β et γ et les décrire dans le tableau périodique ;
- Appliquer la notion de demi-vie ;
- Indiquer les possibilités de blindage.

Référence indicative :

Cours de physique, Sébastien Monard, Gymnase de la cité, 2011, accessible à l'adresse URL
http://gyci.educanet2.ch/cours.physique.df.monard/.ws_gen/2/5%20atome%20DF.pdf


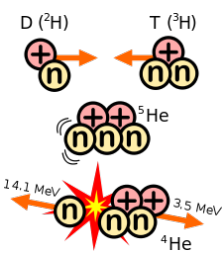
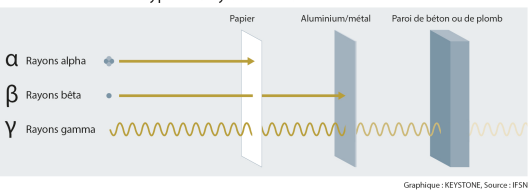
¹ https://www.sbf.admin.ch/dam/sbf/fr/dokumente/2017/03/matura-directives.pdf/download.pdf/directives_des_2012_fr.pdf

A Savoir

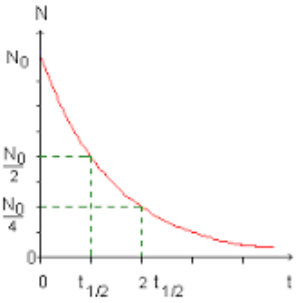
| 1. Décrire les constituants de l'atome et la structure du noyau. | Sources | |
|--|--|--|
| Structure des atomes : noyau et nuage électronique. Composants du noyau : protons et neutrons. | Vidéo Modèles atomiques : http://youtu.be/1DIDW-03PNM | |
| Trouver la charge électrique et la masse des composants du noyau. | Charge élémentaire e, masse au repos de protons et de neutrons : Formulaire CRM ² , dos de la dernière page de couverture. | |
| Qu'est-ce que le numéro atomique Z ? Qu'est-ce que le nombre de masse A ? | Tableau périodique des éléments. | |
| Qu'est qu'un élément ? Qu'est-ce qu'un isotope ? | Tableau périodique des éléments. Vidéo Éléments et isotopes : http://youtu.be/3MnJ6sXkcg | |
| Trouver le numéro atomique d'un élément. Trouver le nom de l'élément d'après le numéro atomique. | Tableau périodique des éléments. Vidéo Éléments et isotopes : http://youtu.be/3MnJ6sXkcg | |
| Déterminer le nombre de protons et électrons d'un atome ou d'un ion. | Tableau périodique des éléments. | |
| Connaître la signification de A_ZX Déterminer A, Z ou X | Tableau périodique des éléments. Vidéo : Éléments et isotopes : http://youtu.be/3MnJ6sXkcg | |
| Qu'est-ce qu'une mole ? Qu'est-ce que le nombre d'Avogadro ? Déterminer le nombre de moles d'après la masse atomique et <i>vice versa</i> . Calculer la masse d'un atome d'après la masse atomique. | Tableau périodique des éléments. Nombre d'Avogadro : Formulaire CRM, dos de la dernière page de couverture. Vidéo Qu'est-ce qu'une mole ? http://youtu.be/FDd1WdM8IAE | |
| Pourquoi les masses atomiques dans le tableau périodique ne sont pas des nombres entiers ? | | |

² Formulaires et tables, Commissions romandes de mathématique, de physique et de chimie, Editions G d'encre, 2010.

| 2. Justifier la nécessité de la force nucléaire. | Sources | |
|---|---|--|
| Être capable de calculer la force électrique exercée par des charges électriques. Appliquer ce modèle aux charges élémentaires (électrons et protons). | Forces électriques, loi de Coulomb : Formulaire CRM, p. 145, Unités de longueur Angström : Formulaire CRM, p. 165. | |
| Être capable de calculer la force de gravitation exercée par des masses. Appliquer ce modèle aux particules élémentaires (électrons et protons). | Charge élémentaire e , Masse au repos de protons et de neutrons : Formulaire CRM, dos de la dernière page de couverture, Unité de masse atomique (u , u_{ma}) en kg et <i>vis versa</i> . | |
| Savoir que les forces électriques répulsives sont nettement plus fortes que les forces gravitationnelles attractives. | | |
| Nécessité de l'existence d'une autre force (<i>forces nucléaires</i>) : - Attractives - Agissant uniquement à très courte distance | | |
| Loi d'Einstein (<i>Énergie totale</i>), équivalence masse-énergie, être capable de calculer l'énergie totale contenue dans une masse. | $E = mc^2$: Formulaire CRM, p. 160. Vitesse de la lumière dans le vide (c): Formulaire CRM, dos de la dernière page de couverture, | |
| Connaître la notion de la masse manquante (ou <i>défaut de masse</i>). Être capable de calculer l'énergie des forces nucléaires (cohésion du noyau). | Tableau périodique des éléments. Énergie totale : Formulaire CRM, dos de la dernière page de couverture. Vitesse de la lumière dans le vide (c) : Formulaire CRM, dos de la dernière page de couverture, Convertir l'unité de masse atomique (u , u_{ma}) en kg et <i>vice versa</i> . | |
| Pourquoi les masses atomiques dans le tableau périodique ne sont pas des nombres entiers ? | | |

| | | |
|---|---|--|
| <p>3. Nommer les particules émises et les noyaux filles lors d'une désintégration α, β et γ et les décrire dans le tableau périodique ; Indiquer les possibilités de blindage.</p> | <p>Sources</p> | |
| <p>Savoir ce qu'est une réaction nucléaire. Distinguer une réaction de fusion et fission, en connaître les conditions.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Fission de $^{235}_{92}\text{U}$</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Fusion de $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H}$</p>  </div> </div> <p>Images : Wikipédia</p> | <p>Exemples : Formulaire CRM, pp. 182-183. Réactions de fusion et de fission https://youtu.be/tha0nl-f_7M</p> | |
| <p>Savoir ce qu'est une particule α, β^+, β^-, γ.</p> | <p>α : noyau d'hélium 4 (^4_2He) β^+ : positron β^- : électron γ : photon (rayonnement électromagnétique)</p> | |
| <p>Connaître les types de blindage en fonction de type d'émission de particules³.</p> | <p>Portée des différents types de rayonnements</p>  <p>Graphique : KEYSTONE, Source : IFSN</p> | |
| <p>Savoir équilibrer une réaction nucléaire simple.</p> | | |

³ Source de l'image : Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN, <https://www.ensf.ch/fr/2016/12/21/serie-sur-la-radioprotection-differentes-sortes-de-rayonnements/>

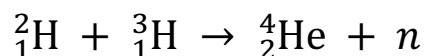
| | | |
|--|--|--|
| <p>4. Appliquer la notion de <i>demi-vie</i>.</p> | <p>Sources</p> | |
| <p>Connaître la notion de radioactivité. Qu'est-ce que la désintégration spontanée.</p> | <p>Formulaire CRM, tableau périodique : éléments instables sont marqués d'un astérisque (*).</p> | |
| <p>Connaître la notion de demi-vie et être capable de calculer des projections simples dans le futur ou la passée.</p> |  <p>The graph shows the exponential decay of the number of nuclei N over time t. The vertical axis is labeled N and has markings for N_0, $\frac{N_0}{2}$, and $\frac{N_0}{4}$. The horizontal axis is labeled t and has markings for 0, $t_{1/2}$, and $2t_{1/2}$. A red curve starts at $(0, N_0)$ and passes through the points $(t_{1/2}, \frac{N_0}{2})$ and $(2t_{1/2}, \frac{N_0}{4})$, which are indicated by dashed green lines.</p> | |

Automne 2004

1. Cocher la bonne affirmation (parmi les 5 proposées, une seule est correcte).
- Un atome porte une charge électrique positive
 - Tous les électrons d'un atome sont à la même distance du noyau
 - Un noyau est 10 fois plus petit que l'atome dont il fait partie
 - Les électrons ne peuvent pas quitter l'atome
 - La masse de l'électron est environ 2000 fois plus faible que celle du proton**

Automne 2005

2. La réaction de fusion nucléaire suivante se produit dans un réacteur expérimental.



Calculer l'énergie fournie par une réaction de fusion.

Les isotopes ont les masses suivantes : $m({}^2_1\text{H}) = 2,014 \text{ uma}$, $m({}^3_1\text{H}) = 3,01605 \text{ uma}$,
 $m({}^4_2\text{He}) = 4,0026 \text{ uma}$ et $m(n) = 1,008665 \text{ uma}$.

$$m_1 = 2,014 + 3,01605 = 5,03005 \text{ uma}$$

$$m_2 = 4,0026 + 1,008665 = 5,011265 \text{ uma}$$

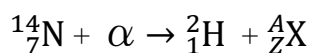
$$m = m_1 - m_2 = 5,03005 - 5,011265 = 0,018785 \text{ uma}$$

$$1 \text{ uma} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow m = 0,018785 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} = 3,119 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

$$E = mc^2 = 3,119 \cdot 10^{-29} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 2,807 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

Automne 2005

3. Déterminer la valeur de Z, A, ainsi que le nom de l'isotope X qui complète la réaction nucléaire suivante :



$$\alpha = {}^4_2\text{He} \Rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^2_1\text{H} + {}^A_Z\text{X}$$

Conservation des charges (Z) :

$$7 + 2 = 1 + Z \Rightarrow Z = 8 \Rightarrow X = \text{O (oxygène)}$$

Conservation de nombre de masse (A) :

$$14 + 4 = 2 + A \Rightarrow A = 16$$

$${}^A_Z\text{X} = {}^{16}_8\text{O}$$

Expliquer comment on détermine l'énergie de liaison entre les particules formant un noyau atomique.

La masse d'un noyau atomique (m_1) est légèrement supérieure à la masse de ses constituants m_2 , c'est-à-dire la masse des protons et neutrons libres. L'énergie que représente cette différence de masse m (masse manquante ou défaut de masse) se trouve dans les liaisons entre protons et neutrons assemblés dans le noyau. On peut calculer l'énergie que représente

la masse manquante avec la loi d'Einstein (équivalence masse-énergie) : $E = mc^2$ où m représente de défaut de masse (en kg), c la vitesse de la lumière dans le vide (en m/s) et E l'énergie (en joules).

Automne 2006

4. Le gaz carbonique de l'air contient en faible quantité du carbone 14, isotope radioactif du carbone. Pour tout être vivant (végétal ou animal), la proportion de carbone 14 par rapport à la quantité totale de carbone qu'il contient est constante : $5 \cdot 10^{11}$ atomes de carbone 14 pour 12 grammes de carbone. Dès que cet être meurt, la proportion des atomes de carbone 14, qui se désintègrent, diminue : la demi-vie du carbone 14 est de 5730 ans.

Pour estimer l'âge (en années) d'un objet d'origine végétale ou animale, on évalue le nombre d'atomes de carbone 14 contenus dans 12 grammes de carbone prélevés sur cet objet.

Dans un fragment de 12 grammes de carbone d'os âgé de 23000 ans, quelle quantité d'atomes de carbone 14 subsiste-t-il aujourd'hui ?

$$\frac{23000}{5730} \cong 4 \text{ demi-vie}$$

| Demi-vie | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 |
|------------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|----------------------|---|
| Années | 0 | 5730 | 11460 | 17190 | 22920 \cong 23000 |
| Nombre d'atomes de ^{14}C | $5 \cdot 10^{11}$ | $2,5 \cdot 10^{11}$ | $1,25 \cdot 10^{11}$ | $6,25 \cdot 10^{10}$ | $3,125 \cdot 10^{10}$ |

Quel est l'âge d'un os dans lequel on détecte $5 \cdot 10^{10}$ atomes de carbone 14 pour 12 grammes de carbone ? (*Question pas comptée car hors champ*)

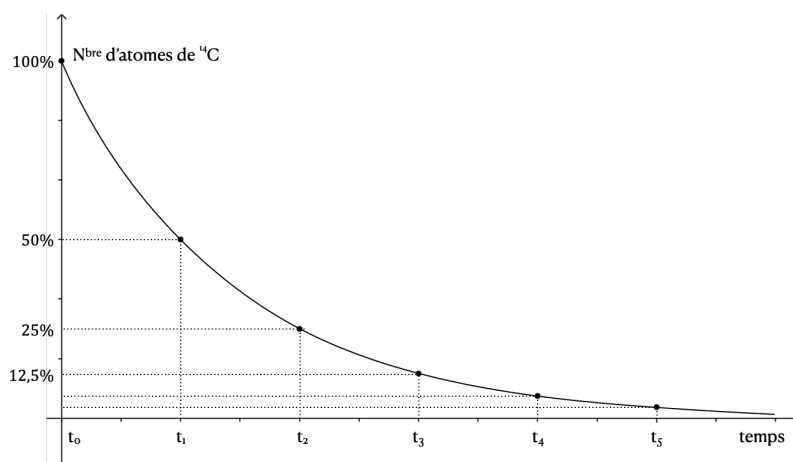
| Demi-vie | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 |
|------------------------------------|-------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Années | 0 | -5730 | -11460 | -17190 | -22920 |
| Nombre d'atomes de ^{14}C | $5 \cdot 10^{10}$ | 10^{11} | $2 \cdot 10^{11}$ | $4 \cdot 10^{11}$ | $8 \cdot 10^{11}$ |

Le nombre d'atomes de ^{14}C pour 12 grammes de carbone était de $5 \cdot 10^{11}$ dans une période allant d'il y a 22920 à 17190 années.

Si un os contient aujourd'hui $5 \cdot 10^{10}$ atomes de carbone 14 pour 12 grammes de carbone, combien en contenait-t-il il y a 5730 ans ?

5730 ans = une demi-vie \rightarrow il y a 5730 ans la quantité était le double c'est-à-dire 10^{11} atomes de ^{14}C

5. Tracer sur le graphe ci-contre l'allure de la courbe qui représente l'évolution en fonction du temps du nombre d'atomes de carbone 14 dans un échantillon d'organisme mort.



Printemps 2004

6. Un noyau d'hélium est constitué de 2 protons et 2 neutrons. On synthétise ce noyau en "assemblant" des particules : 2 protons (p^+) et 2 neutrons (n^0)
a) Indiquer la masse de ces particules

$$m_{proton} = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_{neutron} = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_1 = 2 \cdot 1,6726 \cdot 10^{-27} + 2 \cdot 1,6749 \cdot 10^{-27} = 6,695 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

- b) Déduire, à partir de la table, la masse du noyau d'hélium (négliger la contribution des électrons)

$$M_{He} = 4,00 \text{ g/mole} \Rightarrow 4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mole}$$

$$\text{Une mole de He} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ atomes} \Rightarrow m_2 = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{6,022 \cdot 10^{23}} = 6,6423 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

- c) Expliquer la différence de masse constatée entre la masse totale des constituants et la masse du noyau d'He.

$$m = m_1 - m_2 = 6,695 \cdot 10^{-27} - 6,6423 \cdot 10^{-27} = 5,27 \cdot 10^{-29} \text{ kg}$$

Le défaut de masse (m) ou la différence entre la masse des particules (m_1) et la masse du noyau (m_2) correspond à l'énergie libérée lors de la synthèse du noyau. Elle correspond à l'énergie des liaisons atomiques entre les protons et neutrons dans un noyau de ${}^4_2\text{He}$.

On peut calculer cette énergie avec la loi d'Einstein d'équivalence masse-énergie :

$$E = mc^2 = 5,27 \cdot 10^{-29} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 4,743 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

Printemps 2005

7. Les isotopes sont des nucléides (atomes) qui ont (Z =numéro atomique et A masse atomique)
- Les mêmes A et Z
 - ✓ **Les mêmes Z mais des A différents**
 - Les mêmes A mais des Z différents
 - Des valeurs différentes pour A et Z
 - Aucune de ces réponses

Printemps 2005

8. Supposons qu'un nucléide qui vient d'être préparé a une demi-vie de 10 jours. Le pourcentage qui en reste après 30 jours est :
- 72,5%
 - 30%
 - 25%
 - ✓ **12,5%**
 - 10%

Printemps 2005

9. La particule qui manque dans la réaction ${}^2_1\text{D} + {}^{199}_{80}\text{Hg} \rightarrow {}^{197}_{79}\text{Au} + ?$ est

Conservation de charges (Z): $1 + 80 = 79 + Z \Rightarrow Z = 2$ (He)

Conservation de nombre de masse (A): $2 + 199 = 197 + A \Rightarrow A = 4$

La particule manquante : ${}^4_2\text{He}$ c'est-à-dire une particule alpha.

- Un gamma
- ✓ **Un alpha**
- Un neutron
- Un proton
- Un électron

Printemps 2007

10. L'énergie de liaison d'un noyau :
- Dépend de la masse m du noyau
 - Dépend de l'inverse de la vitesse de la lumière
 - Est maximum pour l'uranium, ce qui favorise la fission nucléaire
 - Est maximum pour l'hydrogène, ce qui favorise la fusion nucléaire
 - ✓ **Se calcule grâce au défaut de masse du noyau.**

Printemps 2007

11. La fusion nucléaire :

- Nécessite des atomes d'uranium et une température extrêmement élevée.
- ✓ **Nécessite des conditions de pression et de température comparables à celles qui règnent à l'intérieur du Soleil.**
- Est réalisée dans l'explosion d'une bombe atomique (bombe A).
- Nécessite d'absorber les neutrons grâce à des barres en bore dans le réacteur.
- Est favorisée si l'on y rajoute de l'hélium.

Été 2010

12. Lors d'une désintégration α , un noyau émet :

- Un proton
- Un positron
- ✓ **Un noyau d'hélium**
- Un proton et un neutrino

Hiver 2010

13. Lorsqu'on compare la masse m d'une particule alpha à la somme des masses de ses constituants, on constate que

- m est supérieure à la somme des masses individuelles
- m est égale à la somme des masses individuelles
- ✓ **m est inférieure à la somme des masses individuelles**
- la différence dépend de la réaction nucléaire qui a donné naissance à la particule alpha

Hiver 2011

14. Une mole, c'est...

- La masse d'un atome de carbone 12,
- Le nombre d'Avogadro,
- La masse de $6 \cdot 10^{23}$ atomes de carbone 12,
- ✓ **La quantité de matière de $6 \cdot 10^{23}$ atomes ou molécules,**
- Le zéro absolu.

Été 2013

15. La demi-vie d'une substance radioactive est de 4 jours. Si on a au départ 10 grammes de cette substance, combien en restera-t-il après 12 jours ?

- 0,625 gramme ;
- ✓ **1,25 grammes ;**
- 2,5 grammes ;
- 4 grammes.

Hiver 2013

16. Lors d'une désintégration γ , le noyau émet

- Un proton,
- Un électron,
- Un neutron,
- Aucune de ces réponses.**

Hiver 2014

17. Lors d'une désintégration α , le noyau émet

- Un proton,
- Un électron,
- Un neutron,
- Un noyau d'hélium.**

Été 2014

18. Les isotopes sont des nucléides (atomes) qui ont (Z = numéro atomique et A = masse atomique)

- Les mêmes A et Z
- Le même Z , mais des A différents**
- Le même A , mais des Z différents
- Des valeurs toujours différentes pour A et Z

Été 2014

19. Supposons qu'un nucléide qui vient d'être préparé a une demi-vie de 5 jours. Le pourcentage qui en reste après 15 jours est :

- 72.5 %
- 25 %
- 12.5 %**
- 10 %

Hiver 2015

20. La demi-vie de l'uranium 238 est de $4,5 \cdot 10^9$ années. Quel temps faut-il pour que les $7/8$ d'un échantillon se désintègre ?

$7/8$ se désintègre \rightarrow $1/8$ reste

| Demi-vie | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 |
|---------------------------|-------|------------------|----------------|---------------------|
| Années | 0 | $4,5 \cdot 10^9$ | $9 \cdot 10^9$ | $1,8 \cdot 10^{10}$ |
| Par d'échantillon restant | $8/8$ | $4/8$ | $2/8$ | $1/8$ |

Il faut $1,8 \cdot 10^{10}$ années pour que $7/8$ de l'échantillon se désintègre.

Été 2015

21. Un échantillon radioactif a une demi-vie T . Si l'on attend trois demi-vies, la radioactivité résiduelle sera :

- Un tiers de la radioactivité initiale
- Trois demi de la radioactivité initiale
- Un huitième de la radioactivité initiale**
- Un sixième de la radioactivité initiale

Hiver 2016

22. Si j'ai 24'000 atomes radioactifs dont la demi-vie est de 6 h, après 24 heures il restera

| Demi-vie | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Heures | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 |
| Par d'échantillon restant | 24000 | 12000 | 6000 | 3000 | 1500 |

- 6'000 atomes radioactifs.
- 4'000 atomes radioactifs.
- 1'500 atomes radioactifs.**
- 0 atome radioactif.

Été 2016

23. Un corps radioactif émet des particules alpha (α).

Ces particules α sont en fait :

- Des noyaux d'hydrogène**
- Des noyaux de deutérium
- Des noyaux de tritium
- Des noyaux d'hélium

Hiver 2017

24. Parmi les quatre séries suivantes de mesures d'activité d'un radio-isotope, laquelle pourrait correspondre à une situation réelle ?

| | | | | |
|--------|---|-----|------|------|
| t(h) | 0 | 1 | 2 | 3 |
| A (Bq) | 0 | 500 | 1000 | 1500 |

| | | | | |
|--------|------|------|------|------|
| t(h) | 0 | 1 | 2 | 3 |
| A (Bq) | 6000 | 5000 | 4000 | 3000 |

| | | | | |
|--------|------|------|------|------|
| t(h) | 0 | 1 | 2 | 3 |
| A (Bq) | 8000 | 4000 | 2000 | 1000 |

| | | | | |
|--------|------|------|------|---|
| t(h) | 0 | 1 | 2 | 3 |
| A (Bq) | 6000 | 4000 | 2000 | 0 |

Été 2017

25. Un échantillon de nucléides radioactifs a une demi-vie de 5 jours.

Le pourcentage de noyaux qui se sont désintégrés au bout de 20 jours est d'environ

| Demi-vie | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Heures | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 |
| % restant | 100 | 50 | 25 | 12,5 | 6,25 |
| % désintégré | 0 | 50 | 75 | 87,5 | 93,75 |

- 13%
- 25%
- 75%
- 94%**

Été 2018

26. Laquelle des affirmations ci-dessous est-elle vraie ?

- La charge de tous les atomes est positive
- La masse de l'électron est environ 1800 fois plus faible que celle du neutron**
- Dans un atome neutre, il y a autant de neutrons que d'électrons
- Le noyau d'un atome est environ 10 fois plus petit que l'atome entier

Été 2019

27. La demi-vie du protactinium 233 est de 27 jours. On mesure l'activité d'une source de protactinium 233 qui s'élève à 10 GBq. L'activité de cette source 54 jours auparavant était de

54 jours = 2 demi-vie

| Demi-vie | t_0 | t_1 | t_2 |
|----------|-------|-------|-------|
| Jours | 0 | -27 | -54 |
| Activité | 10 | 20 | 40 |

- 160 GBq.
- 80 GBq.
- 40 GBq.**
- 20 GBq.

Hiver 2020

28. Une source contient 20 g de substance radioactive. On en prélève 5 g pour constituer une nouvelle source. Comparée à la source originale, cette nouvelle source aura

- Une activité quatre fois plus faible**
- Une demi-vie quatre fois plus faible
- Une demi-vie quatre fois plus élevée
- Aucune des réponses ci-dessus ne convient

Hiver 2020

29. Deux isotopes d'un même élément ont

- ✓ **Le même nombre de protons**
- Le même nombre de neutrons
- Un nombre différent d'électrons
- La même masse atomique