Thème 1 - une longue histoire de la matière	Chapitre 2 - Un niveau d'organisation : les éléments chimiques	1ère Enseignement scientifique
Sommaire et Savoirs-faire exigibles		

Introduction

Dans ce chapitre, nous verrons, après le Big Bang, comment à partir de l'élément hydrogène, ont pu se former les autres éléments chimiques. Pour répondre à cela nous nous intéresserons aux réactions nucléaires qui ont lieu, notamment dans les étoiles. Nous verrons que l'abondance des éléments est différente sur Terre, dans l'Univers et dans le corps humain. La notion de radioactivité de certains noyaux instables sera introduite et nous étudierons une de ses applications : la datation au carbone 14.

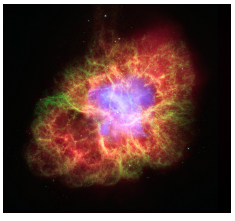
Sommaire

Dans ce polycopié, vous trouverez :

- un QCM introductif pour vous remettre à jour sur les notions à maîtriser pour ce chapitre,
- le cours sur les éléments chimiques
- une fiche sur la datation du carbone 14 (^{14}C)
- les exercices du chapitre

Ce qu'il faut savoir faire (partie physique chimie) :

Savoir-faire	**Fiche**	**Exercice(s)**
Produire et analyser différentes représentations graphiques de l'abondance des éléments chimiques (proportions) dans l'Univers, la Terre, les êtres vivants.	Cours	2 et 3
L'équation d'une réaction nucléaire stellaire étant fournie, reconnaître si celle-ci relève d'une fusion ou d'une fission.	Cours	1
Calculer le nombre de noyaux restants au bout de n demi-vies.	Cours et fiche	4 et 8
Estimer la durée nécessaire pour obtenir une certaine proportion de noyaux restants.	Cours et fiche	5 et 7
Utiliser une représentation graphique pour déterminer une demi-vie.	Cours et fiche	5 et 6
Utiliser une décroissance radioactive pour une datation (exemple du carbone 14).	Cours et fiche	6



Thème 1 - une longue histoire de la matière	Chapitre 2 - Un niveau d'organisation : les éléments chimiques	1ère Enseignement scientifique
QCM introductif		

Pour chacune des propositions suivantes, entourer la ou les bonne(s) réponse(s) :

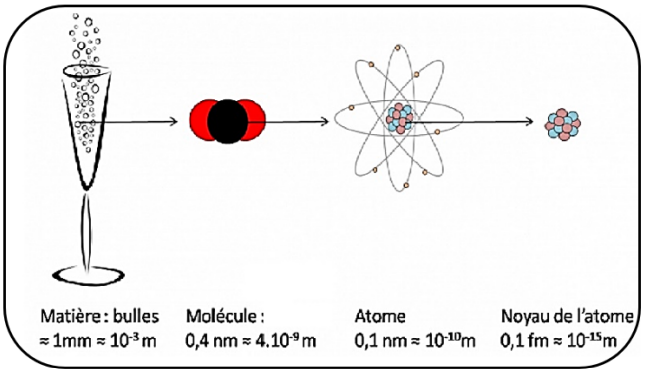
1. Un noyau atomique est constitué de :
   a. Protons et neutrons
   b. Neutrons
   c. Nucléons
   d. Electrons

2. Qu'est ce qui caractérise l'élément chimique ?
   a. Le nombre de protons
   b. Le nombre de neutrons
   c. Le nombre d'électrons
   d. Le nombre de nucléons

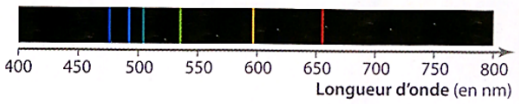
3. Les noyaux $^{16}_{8}O$, $^{17}_{8}O$, $^{18}_{8}O$ sont :
   a. Des isotopes
   b. Des ions
   c. Des atomes
   d. Des isomères

4. Quelle partie d'un atome contient quasiment toute sa masse ?
   a. Le nuage d'électrons
   b. Le noyau
   c. Le ventre
   d. Les particules

5. Un ion monoatomique est un atome qui a :
   a. Gagné un ou plusieurs électrons.
   b. Perdu un ou plusieurs électrons
   c. Radioactif
   d. Son noyau modifié.



6. Le spectre suivant :



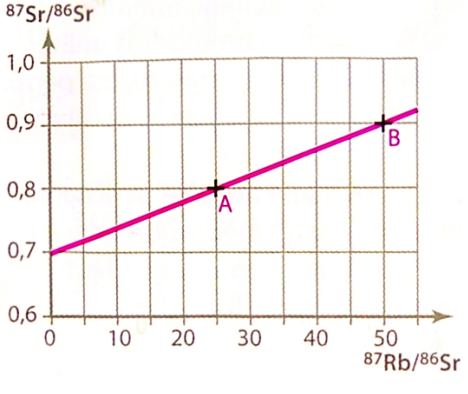
   a. Est un spectre de raies d'émission.
   b. Est un spectre de raies d'absorption.
   c. Est un spectre continu.
   d. Permet d'identifier un élément chimique.

7. Parmi les équations suivantes, lesquelles relèvent d'une réaction chimique ?

   a) $C_{(s)} + O_{2\,(g)} \rightarrow CO_{2\,(g)}$
   b) $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$
   c) $CO_{2\,(g)} + H_2O_{(l)} + CaCO_{3\,(s)} \rightarrow Ca^{+}_{2\,(aq)} + 2HCO^{-}_{3\,(aq)}$
   d) $^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{140}_{54}Xe + 2^{1}_{0}n$

8. Le graphique à droite représente une fonction qui est
   a. Linéaire : f(x)=ax
   b. Affine : f(x) =ax + b
   c. Droite.
   d. Croissante.

9. Le coefficient directeur ***a*** de cette droite est égal à :
   a. $\dfrac{x_B - x_A}{y_B - y_A}$
   b. $\dfrac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$
   c. $0{,}004$
   d. 250



10. Dans quels domaines utilise-t-on la radioactivité ?
    a. Stérilisation de matériels chirurgicaux.
    b. Centrales nucléaires.
    c. Datation d'antiquités.
    d. Echographie.

T1Ch2 - Un niveau d'organisation : les éléments chimiques

I Réactions nucléaires et nucléosynthèse

L'univers est formé de 118 éléments chimiques différents : 94 ont été découverts à l'état naturel alors que 24 autres ont été obtenus artificiellement.

Rappel : Écriture conventionnelle d'un noyau

Tout noyau peut être décrit grâce à l'écriture conventionnelle :

nombre de masse — A
numéro atomique — Z
X — symbole de l'élément

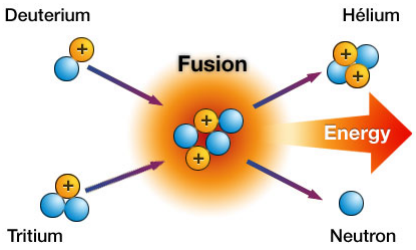
- le numéro atomique Z est égal au nombre de _____ présents dans le noyau.
- le nombre de masse A est quant à lui égal au nombre de _____. Ainsi :

$A =$

On peut également obtenir le nombre de neutrons N à partir de $N = A - Z$.

I.1 Fusion et fission

Fusion

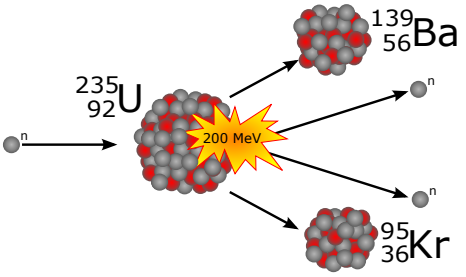


Lors de cette réaction nucléaire _____ noyaux légers s'unissent pour former un noyau plus _____.

Exemple : fusion du deutérium ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ avec le tritium ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$:

$$ {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} $$

Fission



Réaction nucléaire au cours de laquelle un noyau _____ se scinde en _____ noyaux plus _____, spontanément, ou après impact avec autre particule.

Exemple : fission de l'uranium ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$:

$$ {}^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow {}^{139}_{56}\mathrm{Ba} + {}^{95}_{36}\mathrm{Kr} $$

I.2 Nucléosynthèse et formation des éléments

I.2.1 Histoire simplifiée de l'univers

Animation - Vidéo : Théorie du Big Bang

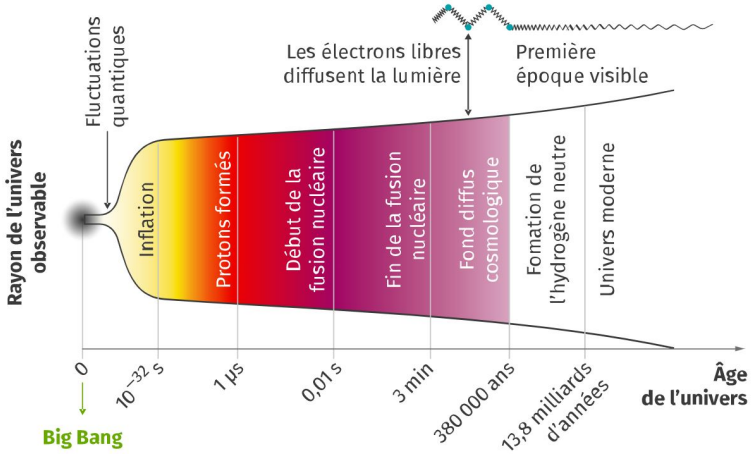
Lien :
https://www.youtube.com/watch?v=VQPb5YQ2RGwS

Nucléosynthèse

La **nucléosynthèse** est la synthèse de _____ par différentes réactions nucléaires. Elle permet d'expliquer l'existence des éléments chimiques connus à ce jour. On peut distinguer plusieurs types de nucléosynthèses (primordiale, stellaire et explosive).

I.2.2 Nucléosynthèse primordiale

Bien que plusieurs théories existent, personne ne sait ce qui s'est déroulé avant le Big Bang et particulier si l'Univers existait. Par contre on sait que lors du Big Bang, il y a environ 14 milliards d'années et en l'espace d'un instant, l'Univers est passé d'un point à environ 10 fois la taille de notre galaxie.



Environ une microseconde (____ s) après le Big Bang, la température atteint alors mille milliards de degrés Celsius et l'Univers devient assimilable à une ***soupe primordiale*** contenant un mélange de protons (noyau d'hydrogène) de neutrons et d'autres particules élémentaires qui viennent d'être formées. Jusqu'à 3 min après le Big Bang a lieu la formation de noyaux de deutérium ___ et de tritium ___, par fusion nucléaire.

Ensuite, alors que la température diminue et n'est plus suffisante pour que les réactions de fusion continuent, les électrons s'associent avec les noyaux présents, ainsi les atomes d'hydrogène et d'hélium se forment durant 380 000 ans.

Avant la formation des atomes, des photons existent, mais sont continuellement échangés entre les différents électrons et ne peuvent s'échapper de cette *mer d'électrons*. Il faut attendre 380 000 ans et la formation des atomes pour que les photons puissent "s'échapper" de cette mer d'électrons et s'éloigner dans toutes les directions. L'ensemble des photons forment ce que l'on appelle le _____, que l'on peut encore détecter aujourd'hui.

Après la nucléosynthèse primordiale, des atomes d'hydrogène et d'hélium ont donc été formés.

I.2.3 Nucléosynthèse stellaire

Animation - Vidéo : La fusion au coeur des étoiles

Lien :
https://www.youtube.com/watch?v=1aKLyPoDjVE

Un milliard d'années après le Big Bang et grâce à l'attraction gravitationnelle, les étoiles se forment, à partir de noyaux d'hydrogène et d'hélium. La température élevée (dizaine de _____ de degrés) au centre de l'étoile permet la fusion de ces noyaux et la formation de noyaux puis d'atomes plus lourds comme le carbone, l'azote, l'oxygène... Cela se produit pour jusqu'au fer ($Z =$), car la fusion d'autres éléments plus lourds ($Z > 26$) nécessite plus d'énergie.

I.2.4 Nucléosynthèse explosive

À la fin de la vie d'une étoile et si cette dernière est assez massive, alors son coeur s'effondre sur lui-même sous l'effet de son propre poids, tout en expulsant violemment les couches externes de l'étoile. C'est lors de cette explosion qu'a lieu la formation par fusion des éléments de numéros atomiques $Z > 26$.

En réalité, les éléments de numéros atomiques _____ présents à l'état naturel sur Terre proviennent d'anciennes supernovae!

II Abondance des éléments, sur Terre, dans l'Univers et chez les êtres vivants

En environ 14 milliards d'années, l'abondance des éléments a évolué et est différente, selon que l'on se situe dans l'Univers, sur Terre ou encore dans le corps humain.

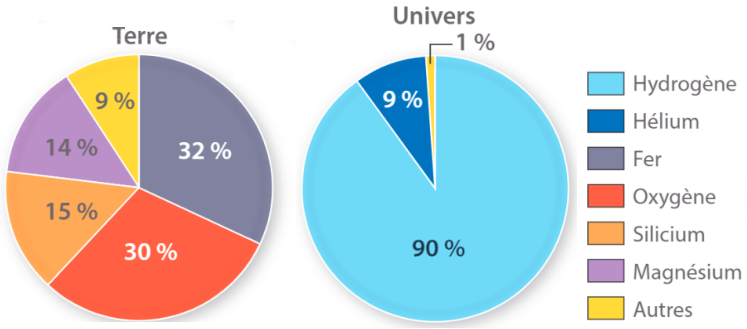


***Figure** : Digrammes circulaires présentant les abondances des éléments sur Terre et dans l'Univers.*

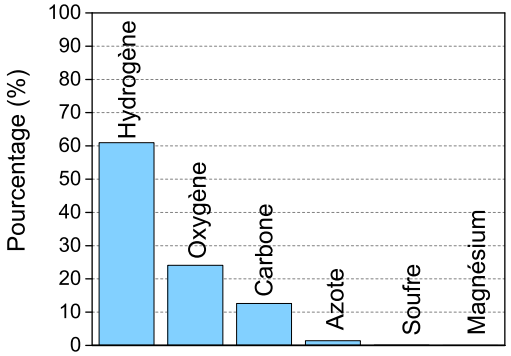
II.1 Abondance des éléments dans l'Univers

Environ 99 % de l'Univers est composé _____ et _____.

II.2 Abondance des éléments sur Terre

Sur Terre, il reste peu d'hydrogène (moins de 1 %), comparativement à l'Univers, constitué à __ % d'hydrogène. On remarque principalement la présence de fer, d'oxygène, de silicium et de magnésium.

II.3 Abondance chez les êtres vivants



Élément	**Pourcentage**
Hydrogène	__ %
Oxygène	____ %
Carbone	____ %
Azote	__ %
Soufre	____ %
Magnésium	_____ %

III Radioactivité

III.1 Découverte et définition

Animation - Vidéo : Découverte de la radioactivité par Henri Becquerel (1896)

Lien :
https://www.youtube.com/watch?v=hoa2jdUJ1Bg

Radioactivité

La **radioactivité** est un phénomène naturel (spontané) et aléatoire au cours duquel un noyau instable (**radioactif**) appelé noyau ____ se désintègre en un ou plusieurs noyau(x) plus stable(s) appelé(s) noyau(x) ___. La désintégration peut s'accompagner de la formation de _____ et/ou d'un _____.

III.2 Évolution du nombre de noyaux radioactifs d'un échantillon de matière

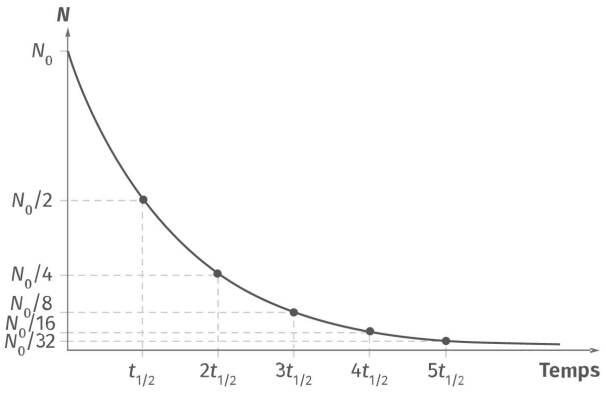
III.2.1 Loi de décroissance radioactive

Demi-vie d'un noyau radioactif

Dans un échantillon contenant des noyaux radioactifs, le nombre initial N_0 de noyaux radioactifs présent diminue au cours du temps, car ils se désintègrent.

On appelle _____ $t_{1/2}$ d'un noyau radioactif, la durée à laquelle il ne reste plus que la moitié des noyaux radioactifs dans l'échantillon, c'est-à-dire $N_0/2$ noyaux. Au bout de deux fois cette durée c'est-à-dire pour $2t_{1/2}$, on divise encore par 2 le nombre de noyaux radioactifs restants, il en reste alors $N_0/4$. À $3t_{1/2}$, il n'en restera donc plus que $N_0/8$ et ainsi de suite.

Courbe de décroissance radioactive



La **courbe de décroissance radioactive** représente l'évolution au cours du temps du nombre N d'un type de noyaux radioactifs.

- à $t = 0$ s : ___ noyaux radioactifs,
- à $t = t_{1/2}$: _____ noyaux radioactifs,
- à $t = 2t_{1/2}$: _____ noyaux radioactifs,
- à $t = 3t_{1/2}$: _____ noyaux radioactifs,

Et ainsi de suite...

Pour généraliser, après n demi-vies, pour un échantillon contenant initialement N_0 noyaux radioactifs, il en reste :

III.2.2 Noyaux radioactifs

Ordre de grandeur : _____ d'éléments possèdent un noyau radioactif.

Chaque noyau radioactif possède sa demi-vie qui lui est _____. Cela permet notamment de suivre l'évolution d'un type de noyau radioactif donné contenu dans un échantillon de matière. Donnons quelques exemples :

Noyau	Demi-vie
Phosphore 32	14,3 jours
Iridium 192	74 jours
Cobalt 60	5,25 années
Césium 137	30 années
Carbone 14	5730 années
Uranium 238	$4,5 \times 10^9$ années

III.3 Applications et datation au carbone 14

La radioactivité possède de nombreuses applications. On peut citer des applications médicales (scintigraphie osseuse), l'utilisation de particules α $\left({}^4_2\text{He}^{2+}\right)$ dans l'expérience ayant mené à la découverte du noyau atomique en 1909, des applications également dans l'armement, la production d'électricité et l'utilisation de traceurs radioactifs pour suivre des masses d'air ou d'eau.

L'une des applications les plus courantes est la datation au _____ utilisant l'isotope ___ du carbone qu'il faut connaître.

Animation - Vidéo : Datation au carbone 14

Lien : https://youtu.be/mLJ6SV_CcRI

Thème 1 - une longue histoire de la matière	Chapitre 2 - Un niveau d'organisation : les éléments chimiques	1ère Enseignement scientifique
Fiche - *Datation au carbone 14*		

La technique de datation par le carbone 14 permet d'estimer l'âge de vestiges archéologiques. Elle utilise les propriétés de désintégration radioactive de ce noyau, présent dans toute matière organique.

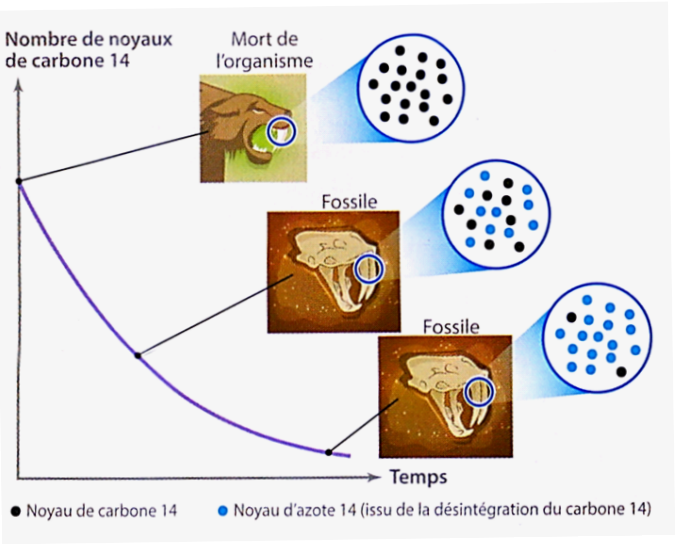
Comment peut-on utiliser le carbone 14 pour dater un échantillon ?

Document 1 - Le carbone 14 (^{14}C)contenu dans les êtres vivants

Le carbone 14 ($^{14}_{6}$C noté ^{14}C) est un isotope de l'élément carbone, présent en très faible quantité sur Terre. Il se désintègre naturellement en azote 14 ($^{14}_{7}$N), stable.

Au cours de leur vie, tous les êtres vivants absorbent du carbone 14 : incorporé par les plantes lors de la photosynthèse, il est ensuite transféré via les chaînes alimentaires.

À leur mort, le carbone 14 qu'ils contiennent n'est plus renouvelé par ces échanges avec l'environnement, et sa quantité diminue par désintégration radioactive.



Évolution de la quantité de carbone 14 présent dans une dent dès la mort de l'animal.

Document 2 - Des vestiges que l'on peut dater

Bison, grotte de Niaux.

La méthode de datation peut s'appliquer à une multitude de vestiges organiques, humains, animaux ou végétaux : peau, os, coquilles, bois ou charbons de bois, plantes, fruits, graines, pollens peuvent être datés. Mais elle peut également être utilisée pour dater des réalisations humaines (tissus, parchemins, poteries, vanneries) : dans ce cas, c'est à partir des matériaux organiques ayant servi à leur fabrication que la datation peut être effectuée.

Le principe est toujours le même : c'est en mesurant la quantité de carbone 14 présent dans un échantillon donné que l'on peut dater la mort de l'organisme.

Par exemple, la datation du charbon de bois présent dans les peintures préhistoriques de la grotte de Niaux (Ariège) a permis d'affirmer qu'elles ont été dessinées il y a 13 000 ans.

Document 3 - L'évolution des techniques de datation

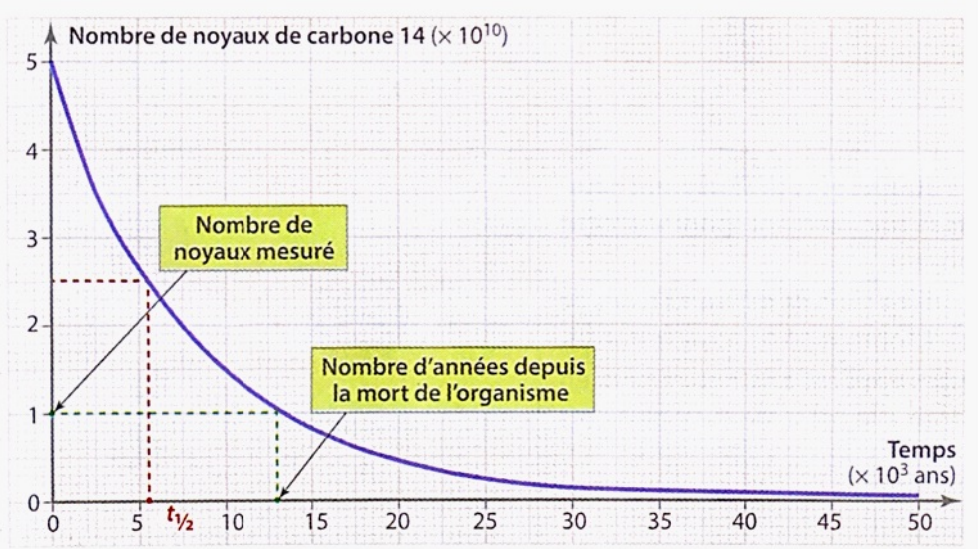
La datation au carbone 14 a été développée par le physicien et chimiste américain **Willard F. Libby** (1908-1980). Il effectue la datation de la *grotte de Lascaux* en 1951 et reçoit en 1960 le prix Nobel de chimie.

Les premières datations nécessitaient plusieurs grammes de matière. La détermination des âges était possible dans un domaine compris entre 1000 et 30000 ans.

Depuis les années 1980, les avancées technologiques ont permis d'utiliser des échantillons de plus en plus petits. Actuellement, on peut remonter sur des périodes comprises entre 300 et 50000 ans à partir de 1 mg de matière seulement. Au-delà de 50000 ans, la quantité restante de carbone 14 dans l'échantillon est trop faible pour être mesurée.

Document 4 - Le principe de lecture de la date de mort

La datation consiste à comparer la quantité de carbone 14 présent dans un organisme ancien avec celle présente dans un organisme similaire vivant, de même masse.
La lecture graphique de la courbe de décroissance radioactive du carbone 14 permet ainsi d'estimer le temps écoulé depuis la mort de l'organisme.



Courbe de décroissance radioactive tracée à partir d'un nombre initial de noyaux de carbone 14 mesuré dans un fragment actuel de charbon, servant de référence.

Questions

1. La courbe de décroissance radioactive du ^{14}C est-elle une fonction linéaire ?

2. À partir de quel moment le nombre d'atomes de ^{14}C commence-t-il à diminuer dans l'organisme ?

3. Qu'appelle-t-on la demi-vie d'un noyau radioactif ? Sans document, combien reste-t-il de noyaux à $2t_{1/2}$? À $3t_{1/2}$?

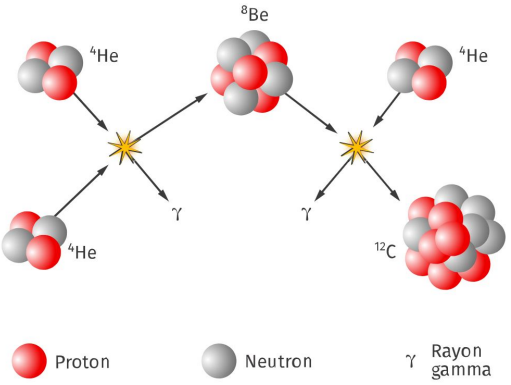
4. À partir du document 4, déterminer graphiquement la demi-vie du ^{14}C. Déterminer également et graphiquement le nombre de noyaux restants à $4t_{1/2}$. Est-ce cohérent avec ce qui est attendu ?

5. À l'aide du Doc.5, estimer la date d'occupation de la grotte de Lascaux sachant qu'un morceau de charbon retrouvé dans celle-ci en 1951 a montré qu'il contenait $0,7x10^{10}$ noyaux de ^{14}C.

Thème 1 - une longue histoire de la matière	Chapitre 2 - Un niveau d'organisation : les éléments chimiques	1ère Enseignement scientifique
Feuille d'exercice		

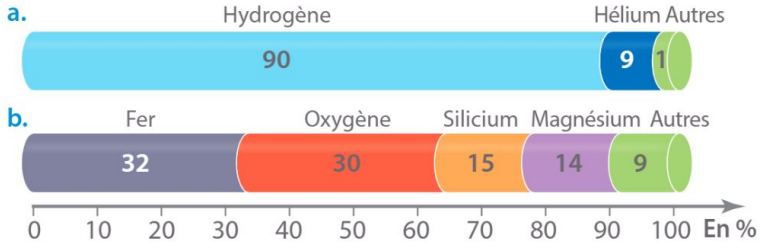
Exercice 1 - Réaction triple alpha

Une des réactions qui se produit dans les étoiles est la réaction « triple alpha », qui est à l'origine de la formation des noyaux de carbone 12. Cette réaction se produit vers la fin de vie d'une étoile, quand la température (100 MK) devient suffisamment élevée pour que le béryllium 8 puisse rencontrer un noyau d'hélium et former le carbone 12 très stable.



1. Donnez la composition du noyau d'hélium 4 ($Z_{He} = 2$), du béryllium ($Z_{Be} = 4$) et du carbone 12 ($Z_C = 6$).
2. Écrivez les deux équations des réactions qui permettent de transformer l'hélium 4 en carbone 12.
3. Indiquez de quel type de réaction il s'agit.

Exercice 2 - Associer la bonne représentation



1. Associer l'Univers et la Terre aux représentations de la composition en éléments chimiques a et b ci-dessus.
2. Quel élément chimique initial a permis la formation d'autres éléments, plus lourds ?

Exercice 3 - Représenter une répartition d'éléments sous forme d'un histogramme

On donne ici les proportions des différents éléments majoritairement présents sur Terre :

Élément chimique	Abondance (% en atomes)
Fer	32 %
Oxygène	30 %
Silicium	15 %
Magnésium	14 %
Autres	9 %

1. Comment ont été obtenus les 4 éléments majoritaires du tableau ?
2. Représenter la répartition des éléments sous forme d'un histogramme.

Exercice 4 - Oxygène 15

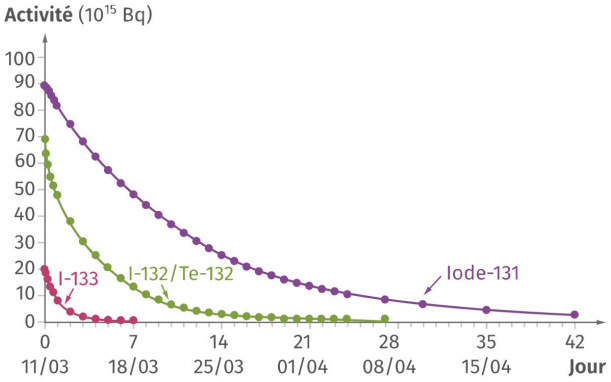
L'oxygène 15 est un isotope de l'oxygène utilisé pour visualiser le cerveau. Sa demi-vie est égale à 2 minutes. On injecte au patient un volume d'eau contenant 1024 noyaux d'oxygène 15. Combien reste-t-il de noyaux d'oxygène 15 après :

1. 2 minutes ? **2.** 4 minutes ? **3.** 10 minutes ? **4.** 20 minutes ?

Exercice 5 - Lecture d'une courbe de décroissance

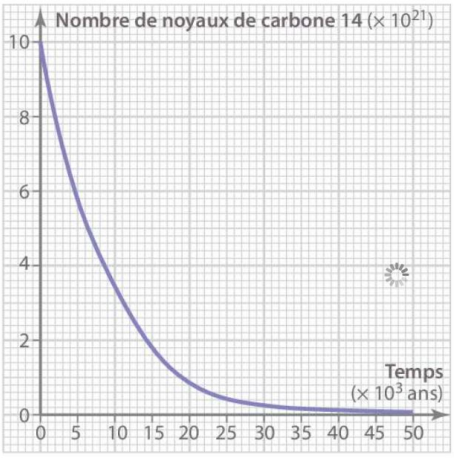
Le 11 mars 2011, un accident majeur à la centrale de Fukushima (Japon) s'est produit à l a suite d'un tremblement de terre suivi d'un tsunami. Les réacteurs ont rejeté plusieurs isotopes radioactifs, dont ceux de l'iode.

On mesure leur activité, correspondant au nombre de désintégrations par seconde, exprimée en Bq et qui est **proportionnelle au nombre de noyaux présents**.



1. Déterminer l'activité des trois isotopes de l'iode au moment de l'accident.
2. Déterminez, la demi-vie de chaque isotope.
3. Déterminez, pour chaque isotope, la durée au bout de laquelle l'activité est inférieure à 10 % de l'activité initiale.

Exercice 6 - La datation au carbone 14 (^{14}C)



Des mesures réalisées sur l'échantillon d'un fragment osseux ont montré un nombre de noyaux de carbone 14 égal à $2,5 \times 10^{21}$.

1. Déterminer graphiquement le temps écoulé entre le décès de l'individu et la découverte du fragment osseux.
2. La limite de la datation au carbone 12 est d'environ 50 000 ans. Justifier cette limite à l'aide du graphique.
3. Estimer à combien de demi-vies correspond cette limite.

Exercice 7 - Plutonium 239

Le plutonium 239 fait partie des déchets radioactifs produits par les centrales nucléaires. Sa demi-vie est égale à 24 110 ans. Après quelle durée la proportion de plutonium restant sera-t-elle égale à :

1. 50 % ? **2.** 12,5 % ? **3.** 3,125 % ?

Exercice 8 - Un isotope de l'iode pour étudier la thyroïde

La glande thyroïde produit des hormones essentielles à différentes fonctions de l'organisme à partir de l'iode alimentaire. Pour vérifier son fonctionnement, on procède à une scintigraphie thyroïdienne. Il s'agit d'un examen d'imagerie médicale qui nécessite l'injection d'un produit faiblement radioactif. Ce radiotraceur qui peut être l'isotope $^{131}_{53}$I de l'iode va se fixer préférentiellement sur les cellules thyroïdiennes. Pour cette scintigraphie, le patient ingère une dose contenant $N_0 = 4,60 \times 10^{15}$ atomes de l'isotope 131. . La **demi-vie** de l'isotope $^{131}_{53}$I vaut **8,0 jours**.

1. Déterminer l'allure de la courbe donnant l'évolution du nombre de noyaux radioactifs de l'échantillon au cours du temps, en prenant comme unité la demi-vie sur l'axe des abscisses.
2. En déduire la durée nécessaire pour qu'il ne reste plus que 25 % de noyaux radioactifs.
3. En déduire (de la question 1 toujours) le nombre de noyaux restants au bout de 32 jours.