



## POUR COMMENCER

### Testez votre culture scientifique

Identifiez la bonne réponse

**1. La plupart des éléments chimiques se sont formés :**

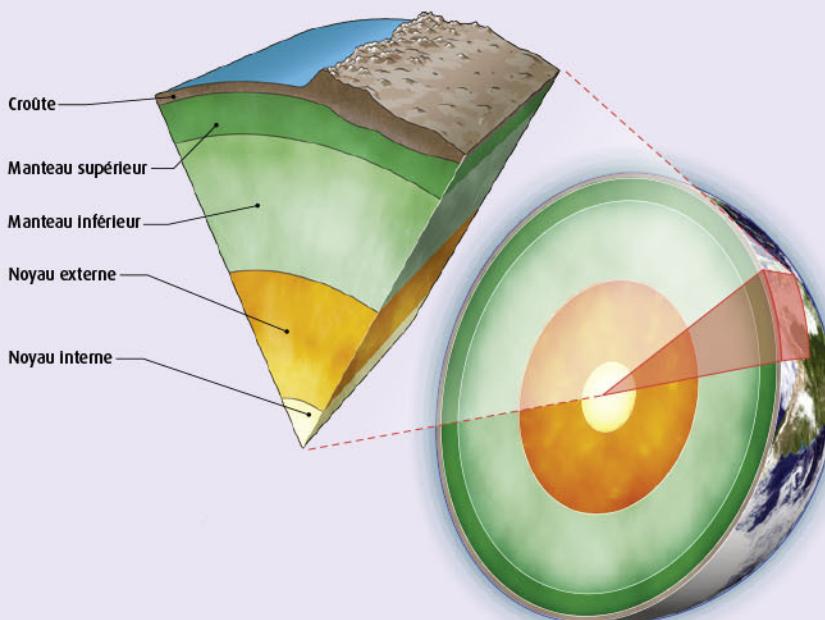
- a. lors du Big Bang
- b. dans les étoiles
- c. sur Terre

**2. La radioactivité désigne :**

- a. l'ensemble des réactions de fusion et de fission
- b. l'émission de gaz toxiques par certaines roches
- c. la désintégration spontanée de noyaux instables

### Recherches Internet

Recherchez les éléments les plus abondants sur Terre et déterminez quels éléments constituent principalement les différentes couches terrestres.



La nébuleuse NGC 6960,  
dite du balai de sorcière.

Elle correspond à un reste de supernova  
(image prise par le télescope spatial Hubble).



CHAPITRE

1

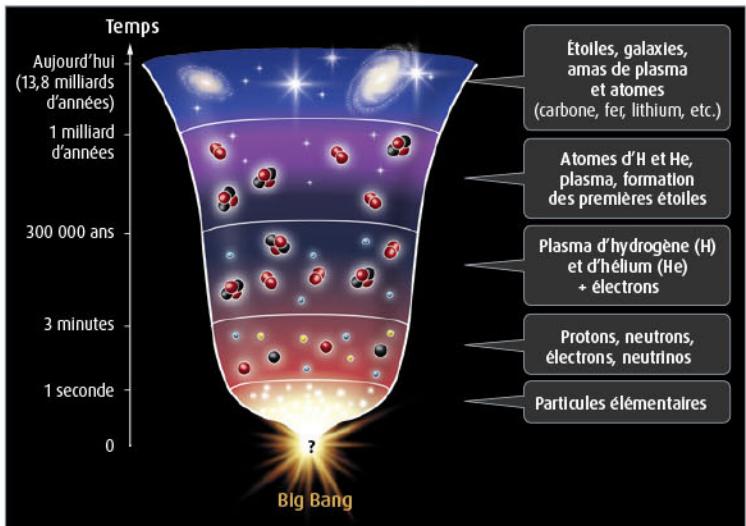
# UN NIVEAU D'ORGANISATION : LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

- UNITÉ 1** La formation des éléments chimiques
- UNITÉ 2** Composition de l'Univers, de la Terre, des êtres vivants
- UNITÉ 3** La radioactivité naturelle, le cas du radon
- UNITÉ 4** La datation au carbone 14

# La formation des éléments chimiques

La matière qui nous entoure est complexe et diverse. Nous avons désormais une bonne connaissance des processus qui ont produit cette matière au cours des âges de l'Univers.

Comment les éléments chimiques ont-ils été synthétisés dans l'Univers ?



## DOC 1 Chronologie de la formation de l'Univers.

La naissance de l'Univers a eu lieu il y a 13,8 milliards d'années lors du Big Bang. L'Univers s'est ensuite développé en plusieurs étapes.

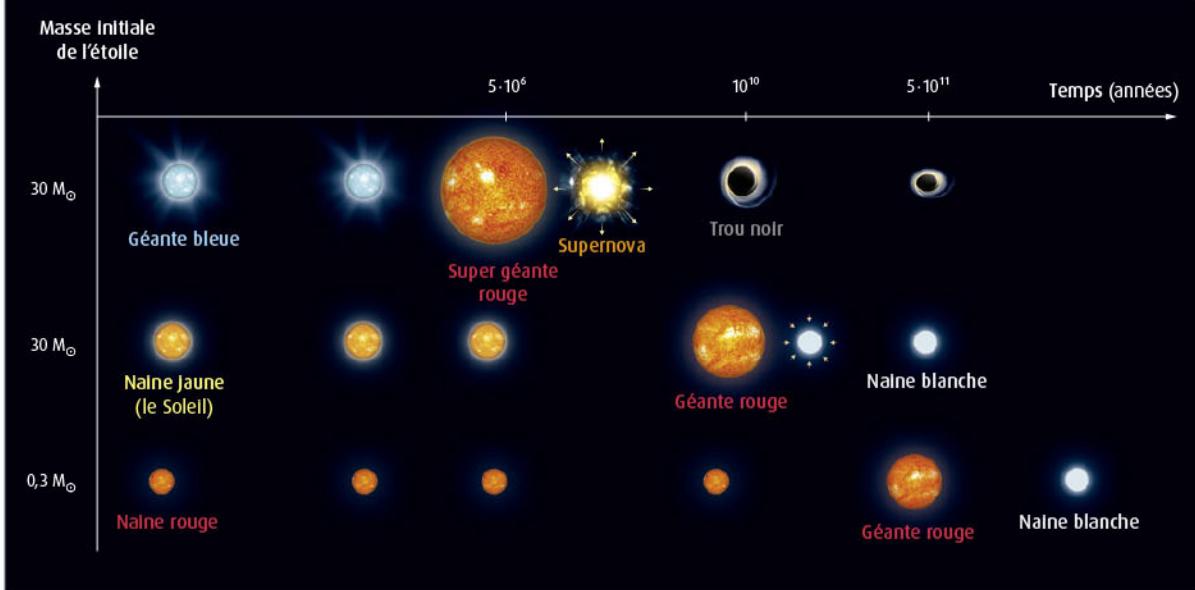
## Histoire des sciences

Article B<sup>2</sup>FH



En 1957, un article intitulé *Synthesis of Elements in Stars* explique pour la première fois que les étoiles fabriquent les éléments chimiques grâce à des réactions nucléaires. On parle de nucléosynthèse stellaire. Parmi ces réactions, la fusion nucléaire produit, à partir de plusieurs éléments, un élément plus lourd (de nombre de masse A plus grand), et la fission nucléaire produit, à partir d'un seul élément, plusieurs éléments plus légers. Cet article est connu sous l'acronyme B<sup>2</sup>FH, composé des initiales de ses auteurs : Margaret et Geoffrey Burbidge, Fred Hoyle et William Fowler.

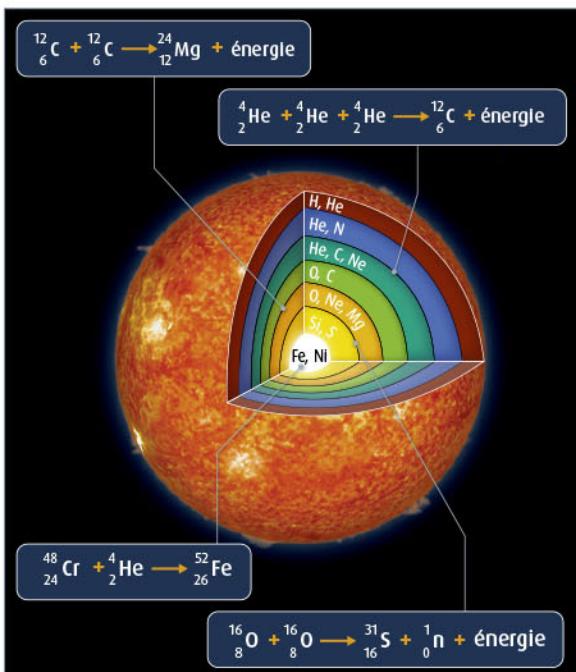
## DOC 2 Naissance de la théorie de la nucléosynthèse stellaire.



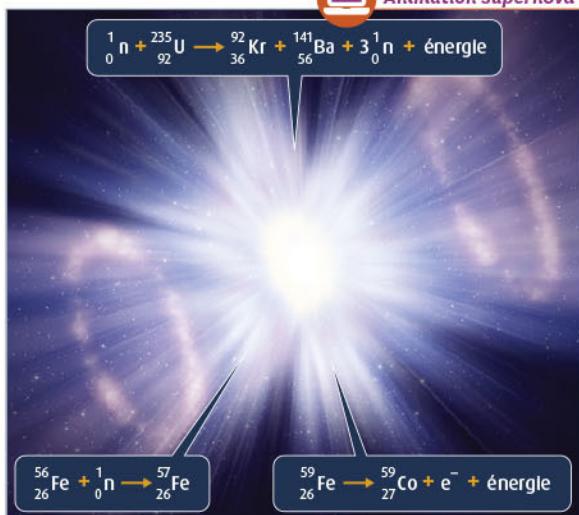
**DOC 3 Étapes de vie de trois étoiles de masses initiales différentes.** Les réactions qui ont lieu au cours de la vie d'une étoile sont des réactions de fusion qui libèrent de l'énergie. La géante bleue synthétise les éléments jusqu'au fer, la naine jaune les éléments jusqu'au carbone, et la naine rouge ne synthétise que de l'hélium. La masse des étoiles s'exprime en «masse solaire», c'est-à-dire en multiples de la masse du Soleil. Le Soleil a pour masse  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$  kg.



Animation supernova



**DOC 4 Structure d'une super géante rouge juste avant son explosion.** Au sein d'une étoile massive, les éléments se répartissent en couches. Les réactions qui produisent des éléments de plus en plus lourds ont lieu aux interfaces entre deux couches. Quatre exemples de réactions sont donnés ici.



**DOC 5 Explosion de supernova.** À la fin de vie d'une étoile massive, son cœur est constitué de fer, l'élément le plus stable du point de vue des réactions nucléaires, et il n'y a donc plus de réaction et de production d'énergie. Par conséquence, l'étoile s'effondre sur elle-même sous l'effet de la gravité. Une quantité d'énergie considérable est libérée, et une onde de choc expulse les couches externes de l'étoile. On parle d'explosion de supernova. Ont alors lieu une grande variété de réactions nucléaires (capture nucléaire, désintégration, fusion, fission) qui créent presque tous les éléments chimiques. C'est la nucléosynthèse explosive. Trois exemples de réactions sont donnés ici.



#### DOC 6 Les rayons cosmiques à l'origine de trois éléments.

La synthèse et l'abondance dans l'Univers des éléments lithium (Li), beryllium (Be), et bore (B) fut longtemps un mystère. On sait désormais qu'ils sont créés par les rayons cosmiques, essentiellement des protons de haute et ultra-haute énergie. Le rayon cosmique «casse» un noyau plus lourd pour former, entre autres, du Li, Be ou B.

### ACTIVITÉ GUIDÉE

- Déterminez quels éléments chimiques sont apparus en premiers dans l'Univers (DOC. 1).
- Identifiez les fusions et fissions nucléaires parmi les sept exemples de réactions (DOCS 2, 4 ET 5).
- Précisez quels éléments sont créés lors des événements suivants : *vie d'une étoile • Big Bang • rayonnement cosmique • explosion de supernova.*
- Expliquez alors pourquoi, plus un atome est lourd, moins il est présent dans l'Univers (DOCS 1 à 5).

# Composition de l'Univers, de la Terre, des êtres vivants

Les éléments chimiques ont des origines diverses : Big Bang, nucléosynthèse stellaire et explosive, rayonnement cosmique, et leur abondance dépend de l'objet d'étude.

Comment les éléments chimiques se répartissent-ils dans l'Univers, la Terre et les êtres vivants ?

## Abondances dans l'Univers



[Version longue de l'interview](#)

Sonia Fornasier, enseignante-rechercheuse à l'Université Paris Diderot et astrophysicienne au LESIA- Observatoire de Paris.

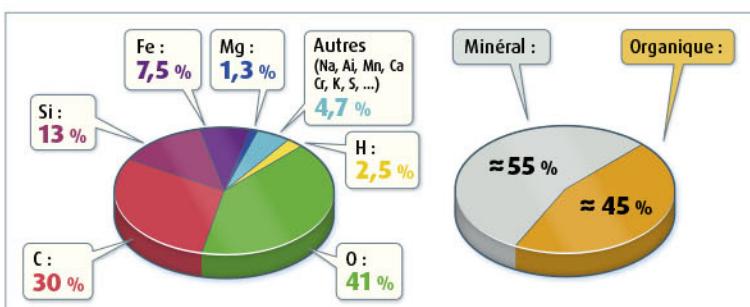
La sonde Rosetta a été lancée en 2004 par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) afin d'explorer la comète Tchouri. L'objectif principal était de comprendre comment fonctionne une comète et de quoi elle est composée. Pour cela, Rosetta, après 10 ans de voyage interplanétaire, s'est mise en orbite autour de la comète en 2014, et l'a observée pendant deux années grâce aux 11 instruments de l'orbiteur, et *in situ* grâce à l'atterrisseur Philae. Ces mesures ont montré une composition cométaire dominée par l'eau, mais contenant également de la matière organique, des sucres et de la glycine, le plus simple des acides aminés. Une découverte très intéressante puisque la vie est vraisemblablement apparue sur Terre peu après le grand bombardement tardif, il y a 3,9 milliards d'années, durant lequel elle a été frappée par de nombreux astéroïdes et comètes, vecteurs d'eau et des molécules complexes qui ont peut-être contribué à l'apparition de la vie sur notre planète.



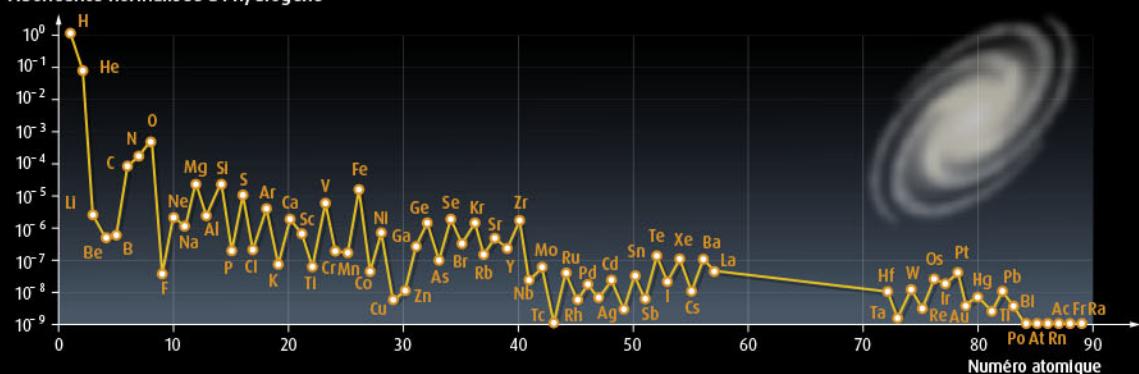
### DOC 1 À la découverte de la comète Tchouri.

#### DOC 2 Composition chimique de la comète Tchouri (en pourcentage de sa masse).

La matière organique est constituée essentiellement de carbone, auquel s'ajoutent des éléments comme l'oxygène, l'azote, l'hydrogène ou le phosphore. La matière minérale désigne la matière non-organique.



Abondance normalisée à l'hydrogène



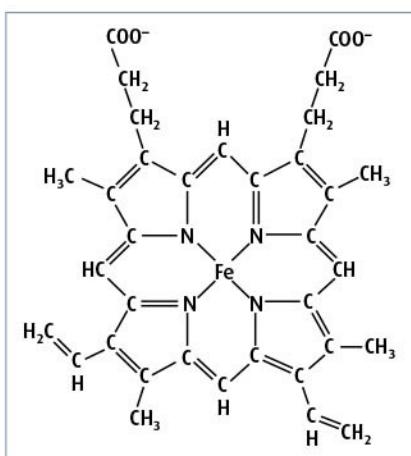
### DOC 3 Abondance relative des éléments chimiques dans l'Univers.

## Abondances sur Terre

Planète Terre		Bactérie (colibacille)		Blé (végétal vert)		Espèce humaine (animal)	
Fe	35	C	50	C	24	C	18
O	30	H	8	H	9	H	10
Si	15	O	20	O	64	O	65
Mg	13	N	14	N	0,8	N	3
Ni	2,4	P	3	Si	0,7	Ca	2
S, Ca, Al, C, H, N	< 2% chacun	K, S, Na, Mg, Ca	< 1% chacun	K, S, P, Na, Mg, Ca	< 1% chacun	K, S, P, Na, Mg	< 1% chacun

**DOC 4** Éléments chimiques les plus abondants de la Terre et de trois êtres vivants (en pourcentage de leur masse).

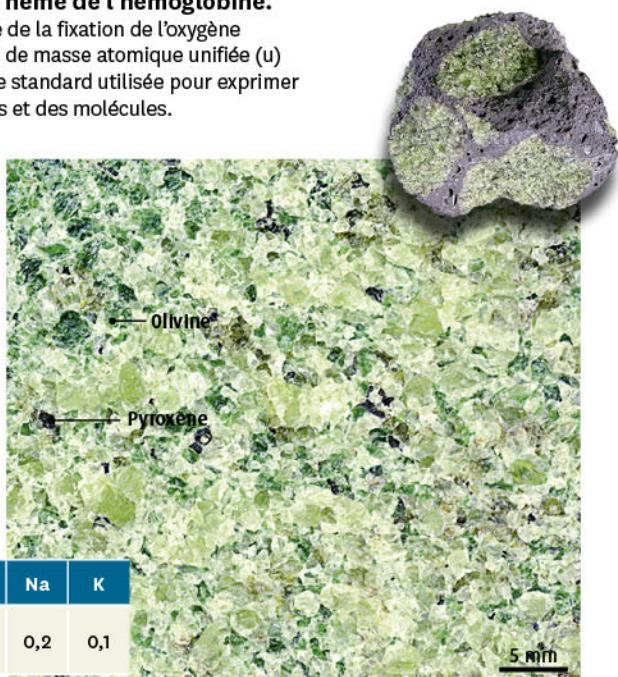
Le noyau terrestre, qui représente environ 33% de la masse de notre planète, est essentiellement constitué de fer. Les êtres vivants sont, quant à eux, composés à 65% d'eau ( $\text{H}_2\text{O}$ ) et produisent de la matière organique.



	Fe	O	N	C	H
Masse (u)	55,845	15,999	14,007	12,011	1,008

**DOC 5** Le groupe hème de l'hémoglobine.

Ce groupe se charge de la fixation de l'oxygène dans le sang. L'unité de masse atomique unifiée (u) est l'unité de mesure standard utilisée pour exprimer la masse des atomes et des molécules.



**DOC 6** Composition de la péridotite. La péridotite est la principale roche du manteau terrestre. Elle est pour l'essentiel constituée d'un mélange de deux minéraux : l'olivine et le pyroxène. Le manteau compte pour 68% de la masse de la Terre.

	O	Si	Al	Ca	Mg	Fe	Na	K
Pourcentage massique	47,5	20,1	1,7	5,9	22,4	2,1	0,2	0,1

### ACTIVITÉ GUIDÉE

1. Représentez sous forme de camembert (voir DOC. 2), les proportions des éléments sur la Terre et chez les trois êtres vivants (DOC. 4).
2. Comparez les éléments les plus abondants dans l'Univers, sur Terre, et chez les êtres vivants (DOCS 3 ET 4).
3. Après avoir compté le nombre d'atomes de chaque élément du groupe hème, calculez le pourcentage en masse de chaque élément. Comparez-les à ceux de l'être humain, proposez une explication aux écarts, puis commentez la phrase suivante : « Les éléments lourds sont essentiels à la vie. » (DOCS 4 ET 5).
4. Comparez la composition massique de la péridotite à celle de la Terre (DOCS 4 ET 6).
5. Déterminez si l'on trouve de la matière organique ailleurs que sur Terre (DOCS 1 ET 2).

# La radioactivité naturelle, le cas du radon

**Les isotopes de certains éléments sont radioactifs et peuvent, au-delà d'une certaine quantité, être dangereux pour les êtres vivants. C'est le cas notamment du radium et du gaz qu'il produit : le radon.**

D'où vient le radon et quels en sont les dangers ?

## Le phénomène de radioactivité

### Histoire des sciences

**1896** Le Français Henri Becquerel découvre que certaines substances émettent spontanément des rayonnements capables de traverser la matière.

**1897** Les Français Pierre et Marie Curie commencent à découvrir les isotopes à l'origine de ces rayonnements, phénomène qu'ils baptisent radioactivité.

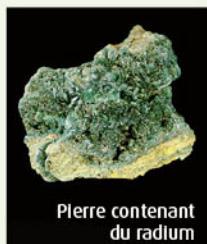
**1898** Pierre et Marie Curie发现 le radium (Ra), un isotope radioactif rare, lui-même issu de la désintégration de l'uranium (U). Cette même année à Montréal, Ernest Rutherford s'aperçoit que le radium émet un gaz radioactif, incolore et inodore, le radon (Rn).

**1903** Henri Becquerel et les Curie reçoivent le Prix Nobel de Physique pour leurs recherches sur les radiations.

**1911** Marie Curie reçoit le Prix Nobel de chimie pour la découverte du radium, devenant la première femme à obtenir cette distinction.

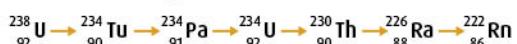
### Milieu du xx<sup>e</sup> siècle

Les mécanismes de la radioactivité sont expliqués. Les noyaux radioactifs étant instables, ils se désintègrent et émettent, pendant cette réaction, un rayonnement.

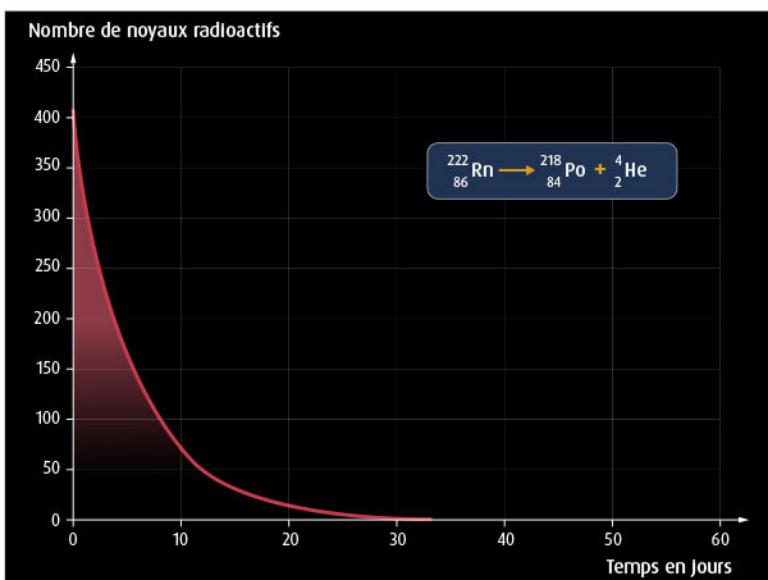


Pierre contenant du radium

### Chaîne de désintégration de l'uranium 238 en radon 222



### DOC 1 Découverte de la radioactivité et du radon.



**DOC 2 Courbe de décroissance radioactive du radon 222.** Au cours du temps, les noyaux d'un échantillon de radon 222 se désintègrent, et il devient donc de moins en moins radioactif. On appelle demi-vie  $T_{1/2}$  d'un noyau radioactif le temps au bout duquel la moitié des noyaux d'un échantillon se sont désintégrés. La demi-vie est caractéristique du noyau radioactif. L'instant de désintégration d'un noyau radioactif pris isolément est aléatoire.



Fichier de simulation

### SERIOUS GAME

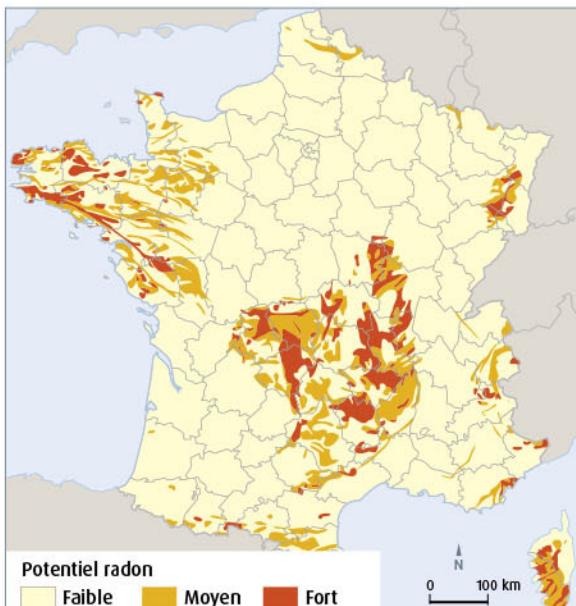
Chaque élève, équipé d'un dé, joue le rôle d'un noyau qui a une chance sur six de se désintégrer à chaque tour. Initialement, chaque noyau est radioactif et se tient debout à côté de son bureau. À chaque tour :

- Tous les noyaux lancent leur dé. S'ils tombent sur le 1, ils se désintègrent et s'assoient.
- On compte le nombre de noyaux toujours radioactifs.

Une fois que tous les noyaux se sont désintégrés, on trace le nombre de noyaux radioactifs en fonction du numéro du tour de jeu.

### DOC 3 Une illustration du caractère aléatoire de la désintégration.

## Les dangers du radon



**DOC 4** Carte du potentiel radon en France.  
Cette carte a été construite en estimant le potentiel de production de radon par les formations géologiques en France.

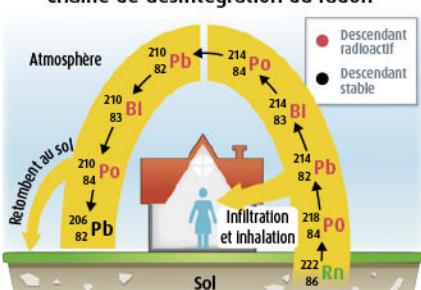


**DOC 5** Carte des anciens sites miniers d'uranium en France métropolitaine. L'exploitation des mines d'uranium a cessé en France en 2001.

### Sciences et Société

Le radon est la deuxième cause de cancer du poumon après le tabac. Il n'est pas source de danger à l'air libre, où sa concentration est minime, mais le devient lorsqu'il s'accumule dans des espaces confinés, comme des mines souterraines ou des habitations. Son effet cancérogène, d'abord mis en évidence chez des mineurs d'uranium, est désormais connu et augmente avec le temps et le niveau d'exposition : de 16 % tous les 100 Bq · m<sup>-3</sup> d'air. Le becquerel (Bq) est l'unité de l'activité radioactive, c'est-à-dire du nombre de désintégrations qui se produisent par seconde. Depuis 2009, le seuil de radon dans les habitations recommandé par l'OMS est de 100 Bq · m<sup>-3</sup> d'air. L'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire) estime que 6,5 % des habitats français présenteraient des niveaux de radon compris entre 200 et 400 Bq · m<sup>-3</sup>, et 2 % des niveaux supérieurs à 400 Bq · m<sup>-3</sup>.

### Chaîne de désintégration du radon



**DOC 6** Radon et risque de cancer.

### ACTIVITÉ GUIDÉE

1. Mesurez la demi-vie du radon, puis le nombre de noyaux radioactifs restant au bout de 5 demi-vies (**docs 1 et 2**).
2. Grâce au serious game, vérifiez le caractère aléatoire de la désintégration, et calculez votre demi-vie en tant que noyau radioactif (**doc. 3**).
3. Comparez les deux cartes et expliquez vos observations (**docs 1, 4 et 5**).
4. En déduire pourquoi l'effet cancérogène du radon a d'abord été mis en évidence chez des mineurs d'uranium.
5. Expliquez dans quels cas et comment le radon et ses descendants sont dangereux pour la santé (**doc. 6**).

# La datation au carbone 14

Si la radioactivité peut être dangereuse pour la santé, elle peut aussi permettre de dater l'âge d'échantillons recueillis par les chercheurs, que ce soit en archéologie, en géologie ou en climatologie. Le carbone 14 est l'un des isotopes radioactifs employés dans ce but.

**Comment fonctionne la méthode de datation au carbone 14 ?**

Continuellement bombardée par des rayons cosmiques (voir unité 1), l'atmosphère est en permanence le siège de réactions nucléaires qui libèrent des neutrons. Ceux-ci réagissent alors, notamment, avec de l'azote pour donner du carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ), isotope radioactif, suivant la réaction :



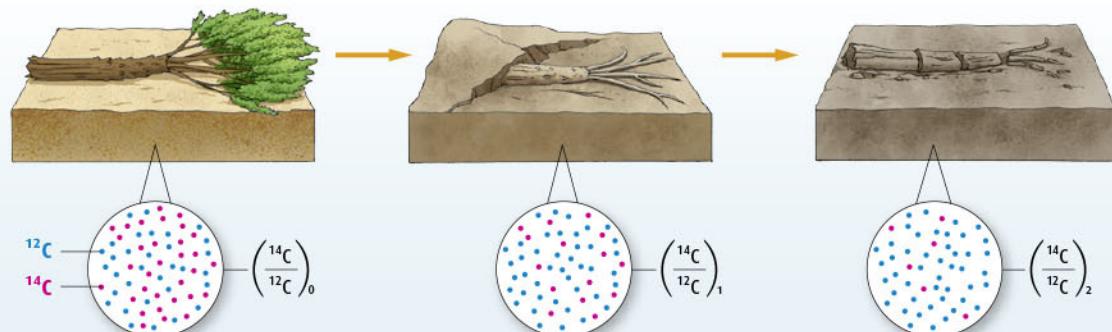
Cet isotope radioactif, instable, se désintègre pour fournir de l'azote 14. Un équilibre entre formation et désintégration du  $^{14}\text{C}$  s'établit ainsi. Pour un atome de  $^{14}\text{C}$  dans l'atmosphère,

on décompte environ mille milliards d'atomes de  $^{12}\text{C}$  (isotope stable). Le rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  vaut donc  $1 \cdot 10^{-12}$ .  $^{14}\text{C}$  comme  $^{12}\text{C}$  sont présents dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone, qui est assimilé par les plantes et se dissout dans les lacs et océans. Au cours de sa vie, un être vivant absorbe indifféremment les deux isotopes de carbone. Tant qu'il reste vivant, il présente donc la même proportion de  $^{14}\text{C}$  que l'atmosphère. Mais lorsqu'il meurt, les échanges cessent et il n'assimile plus de carbone atmosphérique. Le  $^{14}\text{C}$  qu'il contient se désintègre et son taux de  $^{14}\text{C}$  diminue.

$T_0 = \text{mort de l'arbre}$

$T_1 = T_0 + 1\,000 \text{ ans}$

$T_2 = T_0 + 3\,000 \text{ ans}$



**DOC 1** Production de carbone 14 et évolution de sa teneur.

## Histoire des sciences

En 1949, l'Américain Willard Frank Libby publie ses travaux sur la datation de six échantillons de bois grâce au  $^{14}\text{C}$ . Ces échantillons proviennent de différentes époques et leurs âges ont déjà été estimé grâce aux connaissances historiques. Il récolte, pour chaque échantillon, une once de bois (un peu plus de 28 g) qu'il fait brûler. Il recueille ensuite le dioxyde de carbone émis

et le réduit en carbone élémentaire grâce à du magnésium chaud. Enfin, il insère 8 g de ce carbone dans le compteur qui mesure l'activité radioactive, c'est-à-dire le nombre de désintégrations qui ont lieu par minute, rapportée à la masse de carbone en jeu. Libby valide ainsi la méthode de datation au  $^{14}\text{C}$ . En 1950, il obtient le Prix Nobel de Chimie pour ses travaux.

## Résultats

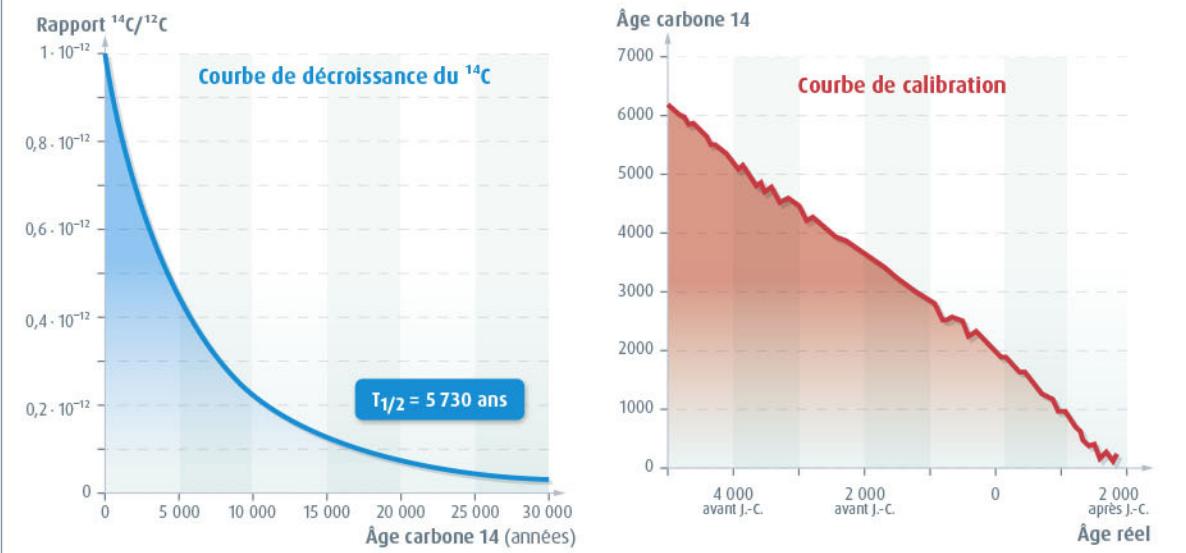
Échantillon	A	B	C	D	E	F	G
Activité mesurée (coups/min/g de C)	$10.99 \pm 0.15$	$9.5 \pm 0.45$	$9.18 \pm 0.18$	$8.68 \pm 0.17$	$7.97 \pm 0.30$	$7.04 \pm 0.2$	12,5
Âge estimé (années)	$1372 \pm 50$	$2149 \pm 150$	$2624 \pm 50$	$2928 \pm 52$	$3792 \pm 50$	$4600 \pm 75$	0

**DOC 2** La première datation au carbone 14.

## Pratique scientifique

Aujourd'hui, la méthode de datation d'un échantillon organique repose sur la mesure du rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  dans l'échantillon étudié. Cette mesure est effectuée grâce à un spectromètre de masse (voir chapitre 9, p. 149). Connaissant la demi-vie du  $^{14}\text{C}$  et la valeur du rapport au moment de la mort de l'organisme dont est issu l'échantillon ( $1 \cdot 10^{-12}$ ), on peut placer l'échantillon sur la courbe de décroissance. On en déduit «l'âge carbone 14» de l'échantillon. En réalité,

le rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  dans l'atmosphère varie au cours des siècles, en fonction, notamment, de l'intensité du champ magnétique terrestre et de l'activité solaire. Il est donc nécessaire, pour connaître l'âge réel d'un échantillon, d'utiliser une courbe de calibration. Celle-ci est établie en croisant les résultats obtenus par la méthode du carbone 14 et par une autre méthode de datation.



### DOC 3 Méthode actuelle de datation au $^{14}\text{C}$ .

La datation au carbone 14 est habituellement utilisée pour des échantillons organiques. Récemment, elle a été employée sur des pigments minéraux issus de cosmétiques fabriqués en Égypte ancienne. Ces pigments, la cérusite ( $\text{PbCO}_3$ ) et la phosgénite ( $\text{Pb}_2\text{Cl}_2\text{CO}_3$ ), contiennent tous deux des carbonates de plomb, mais alors que la cérusite est assez courante dans la nature, la phosgénite est très rare. Grâce à une datation au carbone 14 sur des échantillons conservés au Musée du Louvre, des chercheurs ont pu vérifier que les Égyptiens maîtrisaient déjà la synthèse de la phosgénite, à partir d'un carbonate de calcium prélevé dans des lacs salés où il s'était formé à partir du  $\text{CO}_2$  atmosphérique. En effet, si les carbonates sont naturels, issus de gisements de plomb, leur âge est celui, très vieux, de ces gisements. S'ils sont d'origine synthétique, leur âge est alors celui du moment de fabrication des cosmétiques.



### DOC 4 Datation inédite de pigments minéraux.

## ACTIVITÉ GUIDÉE

1. Comparez les teneurs en  $^{14}\text{C}$  après la mort de l'arbre et justifiez cette évolution (DOC 1).
2. Interprétez les résultats de Libby (DOC. 2) en termes actuels à l'aide du doc 3.
3. Mesurez l'âge carbone 14 de deux échantillons dans lesquels les rapports  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  valent 70 % et 30 % du rapport initial (DOC. 3).
4. Grâce à la courbe de calibration, mesurez l'âge réel de ces échantillons (DOC. 3).
5. Identifiez les données qui ont permis aux chercheurs de déterminer que la phosgénite est d'origine synthétique et la cérusite d'origine naturelle (DOC. 4).

# BILAN

## UN NIVEAU D'ORGANISATION : LES ÉLÉMENS CHIMIQUES



### 1. La formation des éléments chimiques > UNITÉ 1

- Il y a 13,8 milliards d'années le Big Bang a créé une « soupe originelle de particules » qui a produit les premiers noyaux d'hydrogène. Par **fusion** de l'hydrogène, de l'hélium a alors également été formé.
- Par interaction gravitationnelle, les premières étoiles se sont formées. Les étoiles sont le siège de réactions de **fusion** qui engendrent de l'énergie sous forme lumineuse, et de nouveaux éléments. Dans les étoiles les plus massives sont synthétisés le plus grand nombre d'éléments (du carbone jusqu'au fer).
- Les étoiles suffisamment massives finissent leur vie dans une explosion (**supernova**) lors de laquelle tous les autres éléments chimiques peuvent être synthétisés via des réactions nucléaires variées, notamment la **fission**.

### 2. Composition de l'Univers, de la Terre, des êtres vivants > UNITÉ 2

- La composition de l'Univers est liée à la manière dont ont été synthétisés les éléments. L'hydrogène est l'élément principal et les éléments sont globalement d'autant plus rares qu'ils sont de masse élevée.
- La Terre comprend des éléments plus massifs que le fer, ce qui signifie que le système solaire est postérieur à une explosion de supernova.
- Les êtres vivants sont constitués de **molécules dites organiques**, essentiellement faites d'hydrogène, de carbone, d'oxygène et d'azote. On trouve aussi des molécules organiques sur d'autres corps du système solaire.

### 3. La désintégration radioactive > UNITÉS 3 ET 4

- Certains noyaux sont instables : ils se désintègrent spontanément à un instant qui est aléatoire, mais tel qu'au bout d'un temps appelé **demi-vie  $T_{1/2}$** , la moitié des noyaux se sont désintégrés pour donner un autre noyau. C'est la **désintégration radioactive**.
- Le temps de demi-vie d'un noyau radioactif est une propriété qui lui est propre. Par exemple, pour le **carbone 14** ( $^{14}\text{C}$ ),  $T_{1/2} = 5\,730$  ans.
- Les êtres vivants possèdent un taux de  $^{14}\text{C}$  constant. À leur mort, ce  $^{14}\text{C}$  n'est plus renouvelé et on constate au cours du temps sa décroissance. Il est possible de calculer l'âge d'un échantillon en mesurant son taux de  $^{14}\text{C}$  (rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ ).

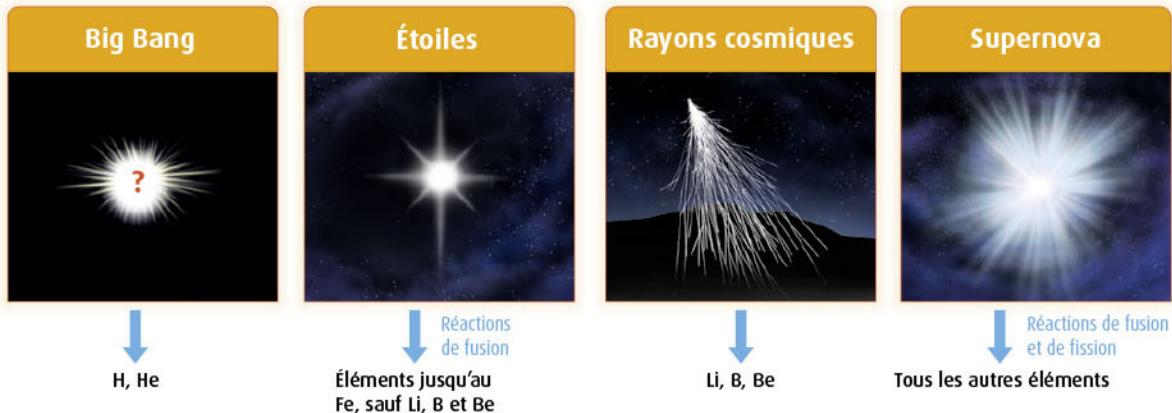
#### Les mots-clés du chapitre

Carbone 14 • Demi-vie  $T_{1/2}$  • Désintégration radioactive • Fission • Fusion • Molécules organiques • Supernova

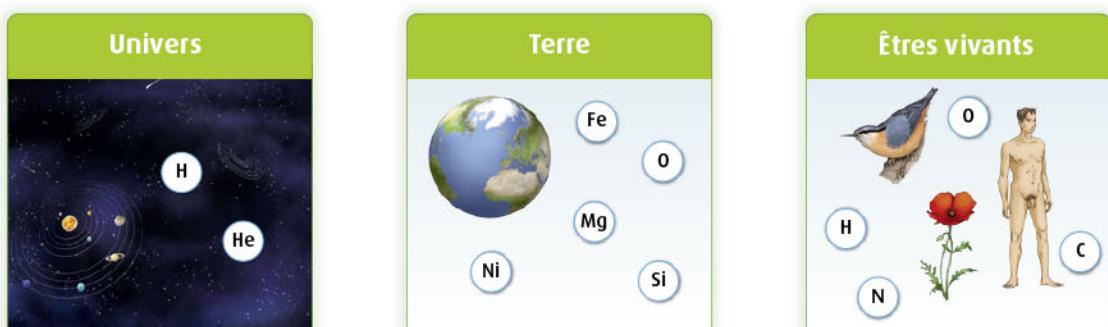
► Lexique p. 251

## *l'essentiel par l'image*

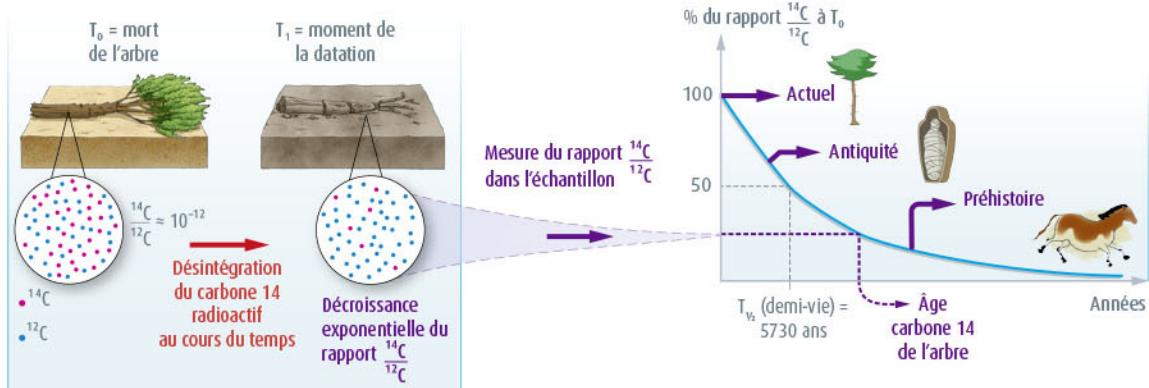
### Production des éléments chimiques par réactions nucléaires



### Principaux éléments



### Datation au carbone 14



# Tester ses savoirs

## 1 Vrai/Faux

Identifiez les affirmations fausses et rectifiez-les.

- a. Plus un atome est lourd, plus il est présent dans l'Univers.
- b. La fusion nucléaire produit, à partir de plusieurs éléments, un élément plus lourd.
- c. La Terre est principalement composée de carbone.
- d. Il existe de la matière organique ailleurs que sur Terre.
- e. Le temps de demi-vie est identique pour tous les éléments radioactifs.

## 2 QCM

Pour chaque proposition, identifiez la bonne réponse.

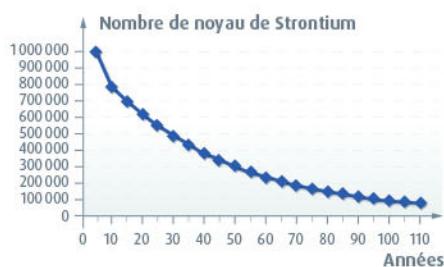
**1. L'hélium et l'hydrogène se sont initialement formés:**

- a. dans les étoiles
- b. juste après le Big Bang
- c. dans les comètes
- d. lors de la formation du système solaire

**2. On peut utiliser la datation au carbone 14 pour des échantillons:**

- a. issus des premiers instants de la Terre
- b. datant de l'Antiquité
- c. vieux de quelques jours

**3. D'après la courbe ci-dessous, on peut dire que le strontium 90 a une demi-vie de :**



- a. 55 ans
- b. 28,9 ans
- c. 57,3 ans
- d. 263 ans

**4. La matière organique est :**

- a. riche en eau
- b. présente seulement chez les êtres vivants
- c. présente ailleurs que sur Terre
- d. faite d'éléments chimiques qu'on ne trouve pas dans la matière minérale

**5. Les étoiles massives synthétisent pendant leur vie :**

- a. tous les éléments chimiques
- b. l'hydrogène
- c. les éléments jusqu'au fer
- d. les éléments plus lourds que le plomb

**6. Les êtres vivants sont principalement constitués:**

- a. d'hélium, d'hydrogène, de carbone et d'oxygène
- b. de fer, d'oxygène, de silicium et de magnésium
- c. de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote
- d. de matière minérale

**7. Après la mort d'un être vivant, son rapport  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ :**

- a. diminue
- b. augmente
- c. reste constant

## 3 Question de synthèse

Expliquez, sous la forme d'un paragraphe d'une dizaine de lignes et éventuellement d'un graphe, le principe de la datation au carbone 14.

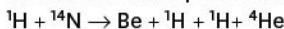
### Critères de réussite

- ✓ J'ai mentionné l'assimilation du carbone 14, radioactif, par les êtres vivants.
- ✓ J'ai expliqué comment déterminer l'âge carbone 14 de l'échantillon, puis son âge réel.
- ✓ J'ai vérifié l'orthographe et la ponctuation de mon texte.

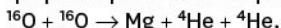
## 4 Raisonner

## Fusion ou fission ?

Voici deux réactions nucléaires qui participent à la synthèse d'éléments chimiques et à la production d'énergie :



qui prend place dans l'espace interstellaire



qui a lieu dans les étoiles massives.

On rappelle que le nombre total de nucléons ne change pas lors d'une réaction nucléaire.

## QUESTION

Pour chaque réaction, complétez le numéro atomique Z et le nombre de masse A de chaque élément (cf. le tableau périodique sur le rabat de couverture) et indiquez s'il s'agit d'une réaction s'apparentant à une fission ou de fusion.

## 5 Extraire des données, représenter et calculer

## Spectre d'abondance de la matière sèche

Le corps humain est constitué, en masse, à 65% d'eau. On cherche à établir le spectre d'abondance des éléments du corps pour un échantillon de matière sèche, c'est-à-dire un échantillon dont on a retiré l'eau.

**AIDE**

$$\text{Masse d'un élément} = \frac{\text{masse molaire (M)}}{N_A}$$

$$(m)$$

Avec  $N_A$  = nombre d'Avogadro  
 $= 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

## QUESTIONS

- Identifiez les éléments ayant une abondance supérieure ou égale à 0,001%.
- À l'aide d'un tableau, tracez le spectre d'abondance de ces éléments pour le corps humain, avec en abscisses le numéro atomique et en ordonnées le pourcentage.
- Pour un individu de 70 kg, calculez la masse de chacun de ces éléments dans son corps.
- Pour ce même individu, calculez la masse d'eau que contient son corps.
- Déterminez, grâce au tableau périodique en rabat de couverture, la masse molaire de l'hydrogène et celle de l'oxygène.
- En déduire la masse d'hydrogène et la masse d'oxygène qui correspondent à l'eau présente dans le corps de l'individu.
- En déduire les masses de chaque élément pour l'individu s'il était dépourvu d'eau.
- Tracez enfin le spectre d'abondance des éléments d'un extrait sec de corps humain.

Z	Symbol	Abondance	Z	Symbol	Abondance
1	H	10%	29	Cu	0,0002%
3	Li	$1 \cdot 10^{-7}\%$	30	Zn	0,0032%
4	Be	$1 \cdot 10^{-7}\%$	32	Ge	$1 \cdot 10^{-7}\%$
5	B	$1 \cdot 10^{-7}\%$	33	As	$1 \cdot 10^{-7}\%$
6	C	18%	34	Se	$1 \cdot 10^{-7}\%$
7	N	3%	35	Br	0,00029%
8	O	65%	37	Rb	0,00046%
9	F	0,0037%	38	Sr	0,00046%
11	Na	0,15%	40	Zr	0,0006%
12	Mg	0,05%	41	Nb	0,00016%
13	Al	$1 \cdot 10^{-7}\%$	42	Mo	$1 \cdot 10^{-7}\%$
14	Si	$1 \cdot 10^{-7}\%$	47	Ag	$1 \cdot 10^{-7}\%$
15	P	1%	48	Cd	$1 \cdot 10^{-7}\%$
16	S	0,25%	50	Sn	$1 \cdot 10^{-7}\%$
17	Cl	0,15%	51	Sb	$1 \cdot 10^{-7}\%$
19	K	0,2%	52	Te	$1 \cdot 10^{-7}\%$
20	Ca	1,5%	53	I	$1 \cdot 10^{-7}\%$
22	Ti	$1 \cdot 10^{-7}\%$	55	Cs	$1 \cdot 10^{-7}\%$
23	V	$1 \cdot 10^{-7}\%$	56	Ba	$1 \cdot 10^{-7}\%$
24	Cr	$1 \cdot 10^{-7}\%$	79	Au	$1 \cdot 10^{-7}\%$
25	Mn	$1 \cdot 10^{-7}\%$	80	Hg	$1 \cdot 10^{-7}\%$
26	Fe	0,006%	82	Pb	0,00017%
27	Co	$1 \cdot 10^{-7}\%$	88	Ra	$1 \cdot 10^{-7}\%$
28	Ni	$1 \cdot 10^{-7}\%$			

**DOC 1** Tableau d'abondance en masse des éléments présents dans le corps humain.

## 6 Analyser un document et rédiger



**DOC 1** Étoiles et nuages de poussières interstellaires.

#### QUESTION

Commentez cet extrait et expliquez le titre de l'ouvrage à la lumière de vos connaissances concernant la synthèse des éléments chimiques.

#### Poussières d'étoiles

En 1984, Hubert Reeves, astrophysicien et vulgarisateur scientifique québécois, publie *Poussières d'étoiles*. « Ce livre voudrait être une ode à l'univers. J'ai tenté de rendre hommage à sa splendeur et son intelligibilité, d'exprimer à la fois sa créativité, son inventivité, sa beauté et sa richesse. J'ai voulu donner à contempler et à comprendre », écrit-il pour présenter son ouvrage.

« Combien de temps faut-il pour engendrer un être intelligent ? Il faut d'abord faire des étoiles à partir de la purée initiale. Puis il faut que ces étoiles vivent leur vie et rejettent leur moisson d'atomes dans l'espace. Il faut ensuite que ces atomes se combinent en molécules et en poussières. Que ces grains de poussière s'accumulent en planètes rocheuses lors de la naissance d'une nouvelle étoile. Finalement, il faut assurer le

cours de l'évolution chimique et biologique de la planète. Nous connaissons plus ou moins bien la durée de chacune de ces opérations. En faisant la somme, on arrive à un minimum de plusieurs milliards d'années. Faut-il s'étonner que l'Univers ait déjà quatorze milliards d'années ? Il ne lui en faut pas moins pour engendrer un être capable de conscience, capable de lui demander son âge... »

**DOC 2** Extrait de *Poussières d'étoiles* (éditions du Seuil).

## 7 Calculer, représenter et raisonner

#### Désintégration de l'uranium

L'uranium naturel existe sous forme de plusieurs isotopes, essentiellement l'uranium 238 ( $^{238}\text{U}$ ) et l'uranium 235 ( $^{235}\text{U}$ ), respectivement à raison de 99,3% et 0,7%. L'uranium 235 est un isotope dit fissile car il peut être utilisé dans des réactions de fissions produisant de l'énergie, notamment dans les centrales nucléaires. Il a la particularité d'être

le seul isotope fissile à être un noyau primordial, c'est-à-dire qui existe depuis la formation de la Terre. Ceci est dû à son temps de demi-vie très long d'environ 700 millions d'années. Le principal minéral naturel d'uranium est la pechblende, composé de dioxyde d'uranium ( $\text{UO}_2$ ).

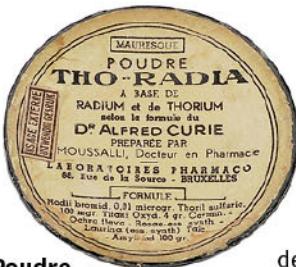


#### QUESTIONS

- Sachant que la masse molaire du dioxyde d'uranium vaut  $M_{\text{UO}_2} = 270 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , calculez le nombre de moles d' $\text{UO}_2$  dans un kilogramme de pechblende.
- En déduire le nombre de noyaux d'uranium dans un kilogramme de pechblende, puis le nombre de noyaux d'uranium 238 et d'uranium 235.
- Déterminez le nombre de noyaux d'uranium 235 dans ce morceau de roche il y a 700 millions d'années. Puis faites de même pour 1,4 - 2,1 - 2,8 - 3,5 - 4,2 et 4,9 milliards d'années.

- Grâce à ces valeurs, tracez la courbe de décroissance radioactive de l'uranium 235 et déterminez approximativement le nombre de noyaux dans le morceau de roche lors de la formation de la Terre il y a 4,5 milliards d'années.
- En considérant que chaque noyau d'uranium 235 s'est désintégré en un noyau de radon 219, déterminez le nombre de noyaux de radon 219 que ce morceau de roche a produit depuis la formation de la Terre.
- Sachant que le volume molaire d'un gaz est de  $24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ , déterminez le volume de radon 219 émis au total.

# ÇA VOUS CONCERNE !



Poudre cosmétique  
Tho-Radia

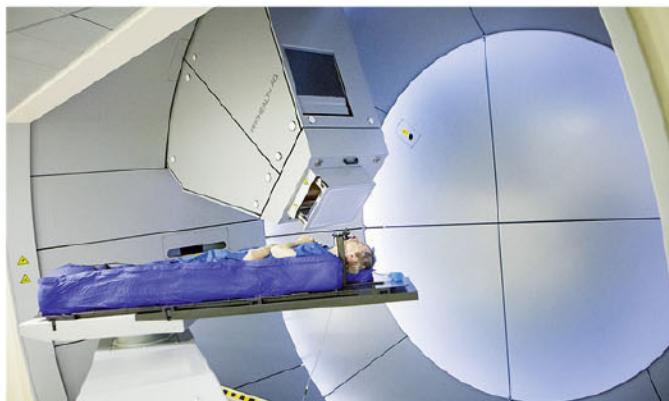
## Santé

### Soigner par la radioactivité ?

Dès la découverte de la radioactivité, on lui prête de nombreuses propriétés, dont celle de soigner.

Ainsi, vers 1925, un laboratoire de radiumthérapie affirme qu'il « a été trouvé peu à peu des remèdes radifères contre presque toutes les maladies chroniques qui désolent l'humanité ». Des produits cosmétiques aux prétendues vertus miraculeuses voient aussi le jour, comme la poudre Tho-Radia, qui profite de l'homonymie, fortuite, de l'un de ses créateurs avec le célèbre couple de physiciens ! En réalité, les rayonnements issus de la désintégration des noyaux radioactifs sont dangereux pour les êtres vivants car ils peuvent altérer l'ADN des cellules. Cette propriété se révèle toutefois très utile pour empêcher la prolifération de cellules cancéreuses, et la radiothérapie est donc aujourd'hui utilisée pour lutter contre les cancers.

 Pour en savoir plus [Site de l'Institut Curie](#)  
+ Article du magazine *Pour la Science*



Séance de radiothérapie

#### Menez l'enquête

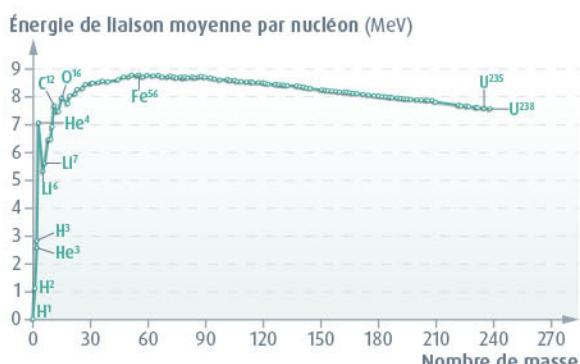
1. Recherchez les vertus vantées par les fabricants de cosmétiques radioactifs à l'époque.
2. Recherchez quels sont les différents types de radiothérapie.

## Projet de recherche

### Énergie nucléaire : le présent et l'avenir

Tous les éléments ne sont pas aussi « solides » les uns que les autres, c'est-à-dire qu'il faut moins d'énergie pour « casser » certains noyaux que d'autres. Cette énergie est appelée énergie de liaison. Dans les centrales nucléaires, des atomes d'uranium U<sup>238</sup> sont brisés par fission, libérant de l'énergie qui génère de l'électricité. 72 % de l'électricité française est produite ainsi. Mais la courbe ci-contre montre qu'il serait beaucoup plus profitable de partir d'éléments très légers, comme l'hydrogène, et de les fusionner pour former des éléments plus lourds, comme l'hélium. Au lieu de « gagner » une fraction de MeV par noyau, on en gagnerait 1 à 3. Derrière cette idée simple se cache un énorme défi technologique, que tente aujourd'hui de relever un groupement de 35 pays à travers le projet ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), installé dans les Bouches-du-Rhône.

 Pour en savoir plus [Site du projet ITER](#)



Énergie de liaison des noyaux en fonction de leur nombre de masse ( $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ joules}$ )

#### Menez l'enquête

Faites des recherches pour découvrir l'obstacle principal à surmonter pour contrôler la fusion nucléaire.