

## Chapitre 1: Un niveau d'organisation : Les éléments chimiques

Sommaire		
Activités	Page(s)	Autoévaluation
1) Histoire des sciences : De Fraunhofer à Bethe, les éléments dans les étoiles	1-4	
2) Les enjeux de l'exploitation et de l'utilisation des terres rares	5-9	
3) L'utilisation de la décroissance radioactive en tant que méthode de datation	9-12	
4) Les usages de la radioactivité et leurs liens avec la santé	12-15	
Cours	15-16	
Devoir surveillé n°1	/	

### Activité 1: Histoire des sciences: De Fraunhofer à Bethe, les éléments dans les étoiles

**Introduction** : Les astrophysiciens identifient les éléments chimiques présents dans les étoiles en analysant leurs spectres lumineux.

**Problématique** : Comment les découvertes de Fraunhofer et Bethe sur les éléments chimiques dans l'espace ont-elles contribué à éclairer notre compréhension de la composition et de l'évolution des objets célestes ?

**Objectifs** : Comprendre la nature du savoir scientifique et ses méthodes d'élaboration.

L'équation d'une réaction nucléaire stellaire étant fournie, reconnaître si celle-ci relève d'une fusion ou d'une fission.

#### Document 1: Les découvertes de Fraunhofer

Joseph von Fraunhofer a apporté des contributions significatives à la découverte des éléments chimiques grâce à ses travaux sur les spectres d'absorption. En observant la lumière émise par le Soleil à travers un prisme, Fraunhofer a remarqué des lignes sombres spécifiques dans le spectre, désormais connues sous le nom de "raies de Fraunhofer".

Ces lignes d'absorption sont le résultat de l'absorption sélective de certaines longueurs d'onde de la lumière par les éléments présents dans l'atmosphère du Soleil. Chaque élément chimique absorbe et émet de la lumière à des longueurs d'onde caractéristiques, créant ainsi un motif de lignes sombres dans le spectre lumineux. En comparant ces motifs d'absorption avec les spectres d'éléments chimiques connus sur Terre, Fraunhofer a pu identifier la présence de divers éléments dans l'atmosphère solaire, tels que l'hydrogène, le sodium, le calcium et d'autres.

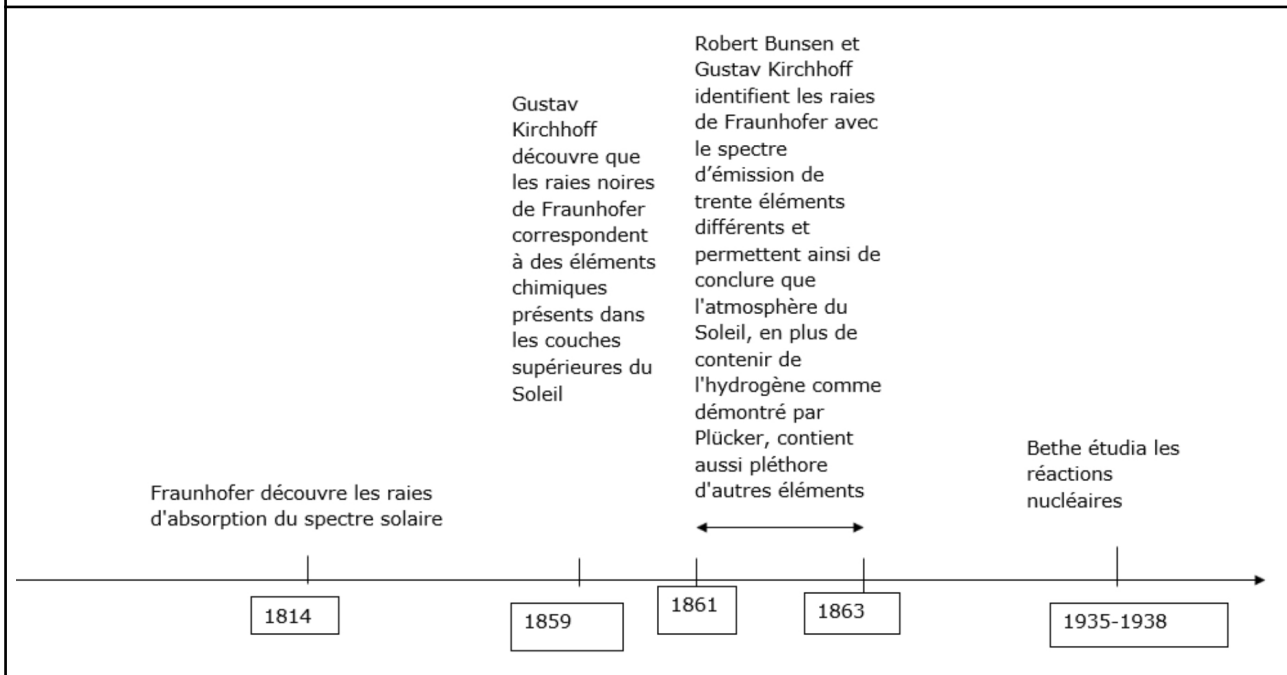
Les découvertes de Fraunhofer ont jeté les bases de la spectroscopie stellaire, une discipline qui permet d'analyser la composition chimique des étoiles et d'autres objets célestes en observant leurs spectres d'émission et d'absorption.

**Vocabulaire :**

**Spectre d'émission:** spectre d'une lumière directement émise par une source.

**Spectre d'absorption:** spectre d'une lumière blanche ayant traversée une substance.

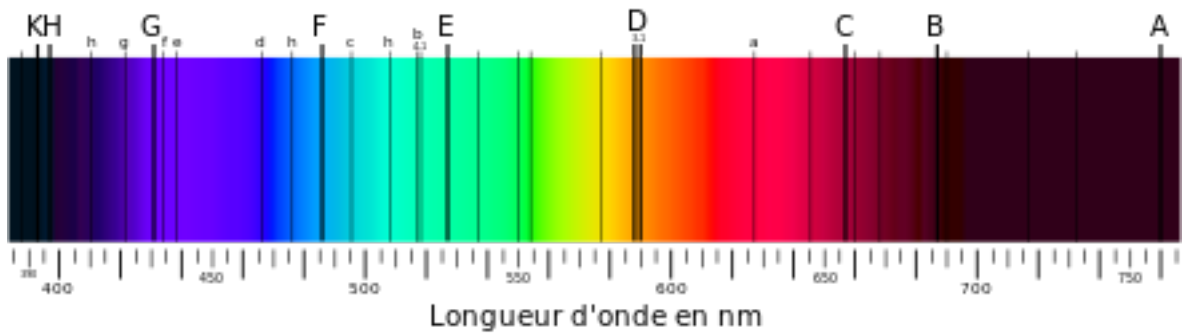
**Document 2: Frises chronologiques des différentes découvertes**



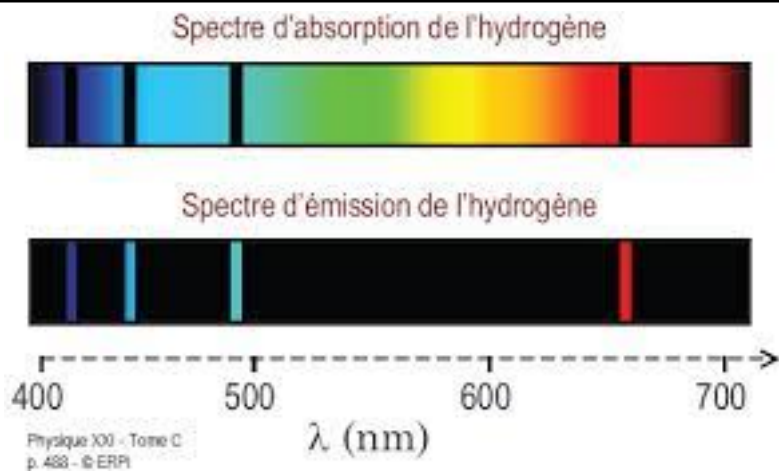
**Document 3: Les contributions de Hans Bethe**

Hans Bethe est célèbre pour avoir développé des modèles théoriques décrivant les processus de fusion nucléaire qui se produisent au cœur des étoiles, notamment dans le processus de fusion nucléaire qui alimente le Soleil. Ses travaux ont permis de comprendre comment les atomes d'hydrogène sont convertis en hélium par des réactions de fusion, libérant ainsi une énorme quantité d'énergie sous forme de lumière et de chaleur.

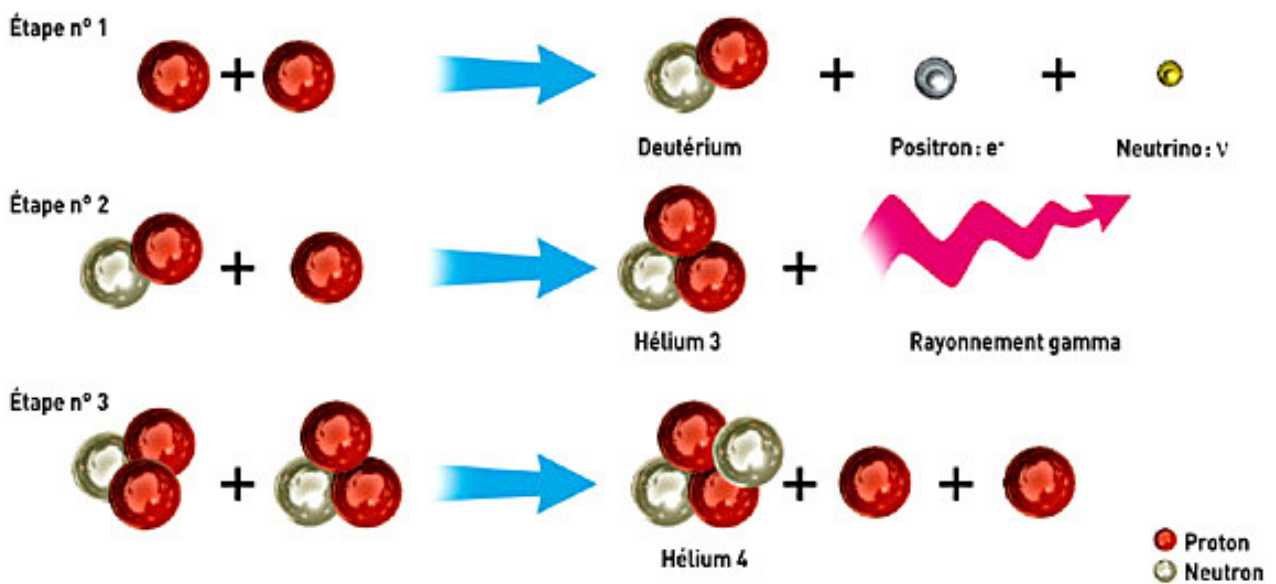
### Document 4: Les raies de Fraunhofer



### Document 5: Spectres d'absorption et d'émission de l'hydrogène



### Document 6: Les réactions nucléaires dans les étoiles



La fusion nucléaire implique la fusion de noyaux atomiques légers pour former un noyau plus lourd. Les étoiles fusionnent les noyaux d'hydrogène pour former des noyaux d'hélium, libérant ainsi une grande quantité d'énergie sous forme de lumière et de chaleur. Lors de la fusion, la masse totale des noyaux produits est légèrement inférieure à la somme des masses des noyaux réactifs. Cela est dû à la célèbre équation  $E=mc^2$  d'Albert Einstein, qui montre que l'énergie (E) est équivalente à la masse (m) multipliée par la vitesse de la lumière au carré ( $c^2$ ). Une petite partie de la masse est convertie en énergie au cours de la fusion nucléaire. C'est cette conversion de masse en énergie qui permet aux étoiles de briller si intensément.

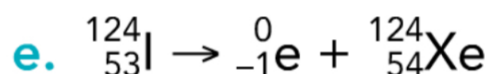
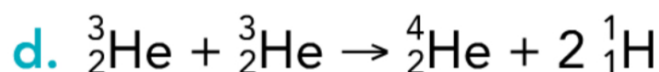
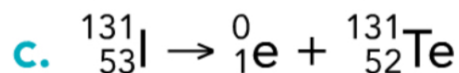
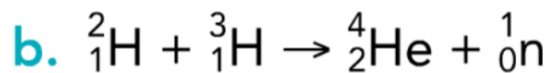
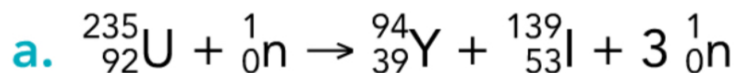
**Vocabulaire :**

**Fission :** Division d'un noyau atomique lourd en deux noyaux plus légers.

**Fusion :** Fusion de noyaux atomiques légers pour former un noyau plus lourd.

**Désintégration :** Transformation spontanée d'un noyau atomique instable en un noyau plus stable, accompagnée de l'émission de particules ou de rayonnements.

- 1) Quelle méthode Joseph von Fraunhofer a-t-il **utilisée** pour étudier la composition chimique de l'espace et des étoiles ?
- 2) Comment les lignes de Fraunhofer se **forment**-elles dans le spectre lumineux du Soleil et quelle est leur signification ?
- 3) Quels **sont** les éléments chimiques qui sont responsables de la création des lignes de Fraunhofer dans le spectre solaire ?
- 4) **Comparer** les motifs d'absorption observés dans le spectre solaire avec les spectres de l'Hydrogène. Que **remarquez**-vous ?
- 5) Quels types de noyaux atomiques légers sont généralement **impliqués** dans la fusion nucléaire dans les étoiles ?
- 6) Quel **est** le résultat de la fusion nucléaire d'hydrogène dans les étoiles ?
- 7) Pourquoi la masse totale des noyaux produits lors de la fusion nucléaire **est**-elle légèrement inférieure à la somme des masses des noyaux réactifs ?
- 8) Parmi les réactions nucléaires suivantes, **indiquer** s'il s'agit d'une réaction de fission, de fusion ou de désintégration.



- 9) En quoi les travaux de Fraunhofer et Bethe ont-ils **contribué** à éclairer notre compréhension de la composition et de l'évolution des objets célestes ?

## Activité 2: Les enjeux de l'exploitation et de l'utilisation des terres rares

**Introduction** : Au sein de cet univers en constante évolution, la Terre se démarque en tant que foyer de la vie et de la diversité, abritant des écosystèmes complexes et des êtres vivants adaptés à une multitude d'environnements. Cependant, au-delà des structures et des organismes visibles à l'œil nu, des éléments moins connus mais tout aussi cruciaux jouent un rôle essentiel dans notre quotidien et nos avancées technologiques. Les terres rares, un groupe de minéraux aux propriétés uniques, incarnent cette dualité en tant qu'éléments omniprésents dans l'univers, tout en étant indispensables aux innovations modernes qui alimentent notre société.

**Problématique** : Comment la présence des terres rares dans l'univers façonne-t-elle leur rôle crucial dans la société moderne, et quelles stratégies de gestion durable peuvent être élaborées pour minimiser leur impact sur l'environnement tout en répondant aux besoins technologiques actuels et futurs ?

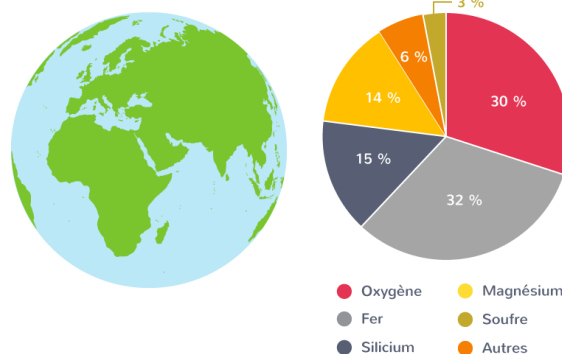
**Objectifs** : Identifier et comprendre les effets de la science sur les sociétés et sur l'environnement.

Produire et analyser différentes représentations graphiques de l'abondance des éléments chimiques (proportions) dans l'Univers, la Terre et les êtres vivants.

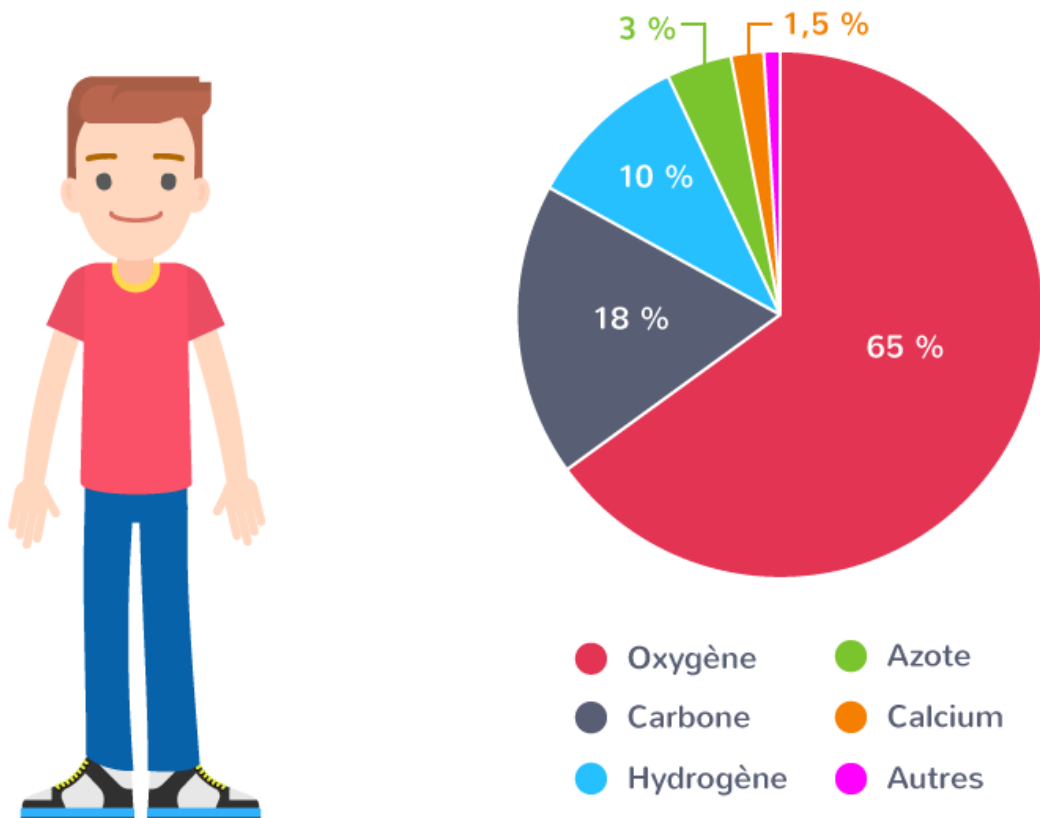
### Document 1: Les différents constituants de l'Univers

L'univers est principalement constitué d'hydrogène (environ 74 %) et d'hélium (environ 24 %) en termes de pourcentage de la masse observable. Ces deux éléments légers ont été produits peu de temps après le Big Bang lors de la nucléosynthèse primordiale. Les autres éléments plus lourds, y compris les éléments nécessaires à la vie tels que le carbone, l'oxygène et l'azote, ne constituent qu'une petite fraction de l'univers, avec des pourcentages beaucoup plus faibles.

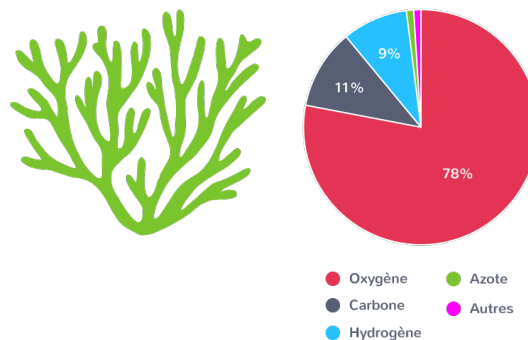
### Document 2: Les différents constituants de la Terre



### Document 3: Les différents constituants de l'être humain



### Document 4: Les différents constituants d'une algue



### Document 5: Pourcentage de terres rares sur Terre

Les terres rares sont un groupe de 17 éléments chimiques qui sont relativement rares dans leur occurrence naturelle sur Terre. Collectivement, ils représentent moins de 0,1 % de la croûte terrestre en termes de pourcentage de masse. Malgré leur faible pourcentage, les terres rares ont des applications importantes dans diverses industries en raison de leurs propriétés uniques.

## Document 6: Les différents terres rares

### Les 17 terres rares

SCANDIUM 21 Sc	LANTHANUM 57 La	CERIUM 58 Ce	PRASEODYMIUM 59 Pr	NEODYMIUM 60 Nd	PROMETHIUM 61 Pm	SAMARIUM 62 Sm	EUROPIUM 63 Eu	GADOLINIUM 64 Gd
YTRIUM 39 Y	TERBIUM 65 Tb	DYSPROSIUM 66 Dy	HOLMIUM 67 Ho	ERBIUM 68 Er	THULIUM 69 Tm	YTTÉRIUM 70 Yb	LUTETIUM 71 Lu	

### Des propriétés exceptionnelles

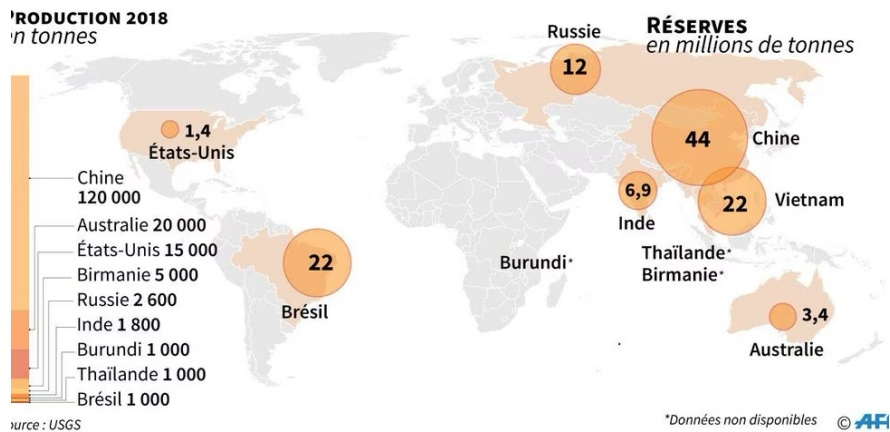


### Les principaux domaines d'utilisation



## Document 7: Réserves de métaux rares

### Production et réserves de métaux rares



## Document 8: Les dangers de l'exploitation des terres rares

**Une exploitation responsable d'importants dégâts environnementaux**

**Découper la Terre pour exploiter sa croûte**  
Comme toute ressource fossile, les métaux critiques sont extraits de la croûte terrestre.

**3M**  
d'hectares chinois endommagés par l'activité d'extraction selon le Ministère des ressources naturelles chinois.

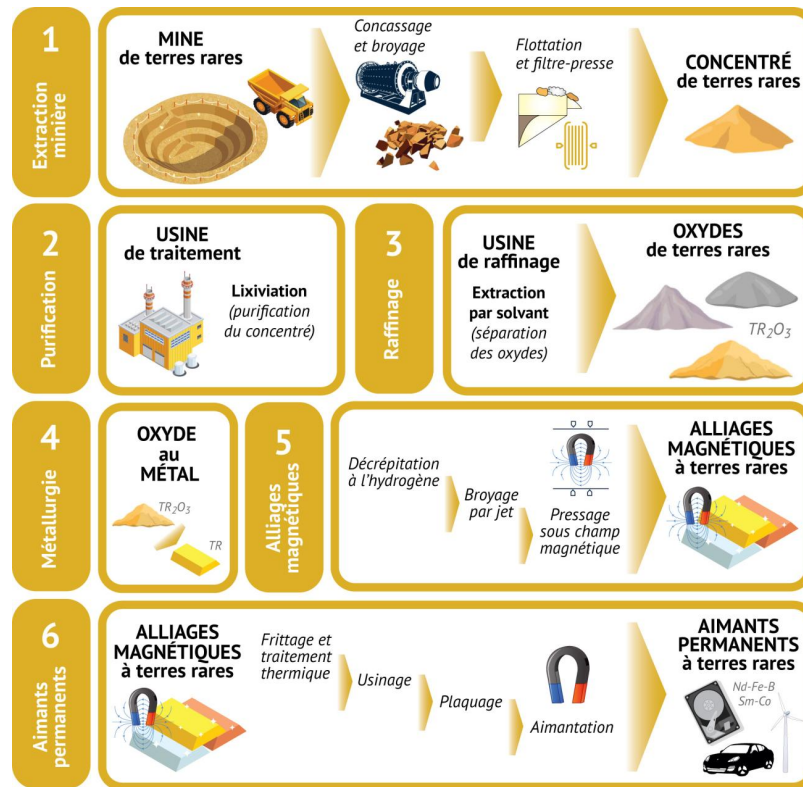
Il faut extraire

8 1/2 tonnes de roches

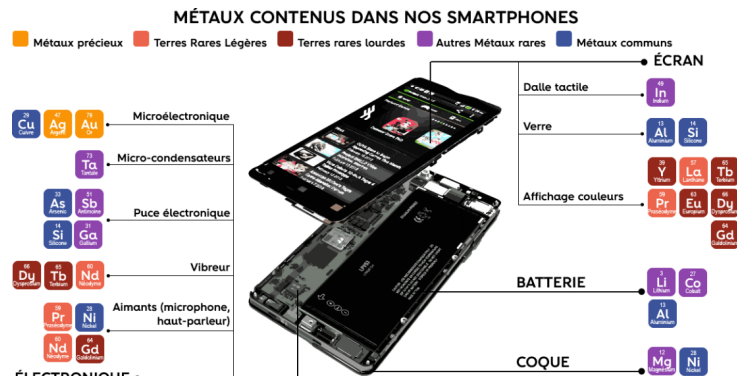
1KG

23 V Vanadium

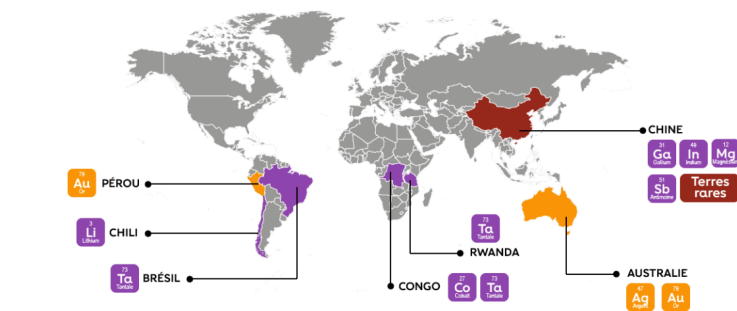
## Document 9: Filière d'approvisionnement en aimants



## Document 10: Métaux contenus dans nos smartphones



### ORIGINE GÉOGRAPHIQUE DES COMPOSANTS



Source: Compound Interest - Encyclopédie Universalis - Seeking Alpha

1) **Construire** le diagramme circulaire de l'abondance des éléments chimiques dans l'Univers.

**Méthode:** Convertissez les pourcentages en degrés en multipliant chaque pourcentage par 360 et en divisant par 100.

Commencez par un point de départ (habituellement à 0 degrés) et tracez des portions du cercle pour chaque pourcentage converti en degrés.

Marquez le nom de chaque section près de la portion correspondante du cercle.

Assurez-vous que la somme des degrés de toutes les sections est égale à 360 degrés.

Ajoutez un titre.

2) En observant le diagramme circulaire représentant les éléments chimiques dans l'être humain, quel **est** l'élément le plus abondant en proportion ?

3) Dans le diagramme circulaire de l'algue, quel pourcentage **est** réservé à l'oxygène ?

4) En se basant sur le diagramme circulaire, quel **est** l'élément chimique en plus grande proportion dans l'être humain, après l'oxygène et le carbone ?

5) Quelle **est** la proportion des terres rares par rapport aux autres éléments qui composent la croûte terrestre ?

6) Quelle **est** la localisation principale des gisements de terres rares dans le monde, et comment cette distribution géographique peut-elle **influencer** la sécurité d'approvisionnement, la géopolitique et l'impact environnemental liés à l'extraction et à l'utilisation de ces éléments ?

7) D'où **proviennent** principalement les terres rares nécessaires à la fabrication de nos smartphones ?

### Activité 3: L'utilisation de la décroissance radioactive en tant que méthode de datation

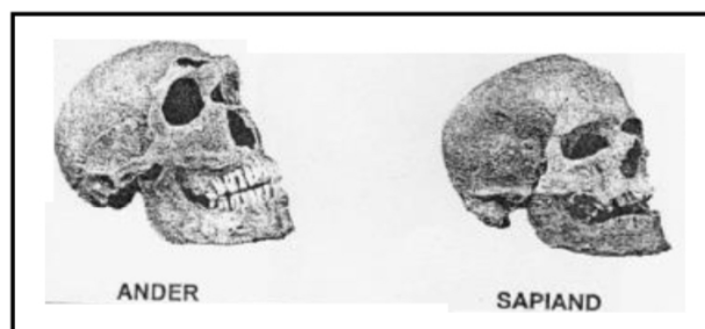
**Introduction :** Deux squelettes ont été retrouvés à 2 mètres l'un de l'autre lors de travaux de construction d'un parc aquatique. Ils ont été baptisés Sapiand et Ander. Sapiand présente manifestement les signes crâniens d'une mort violente et les spécialistes s'interrogent.

**Problématique :** Ander a-t-il massacré Sapiand ? Il semble qu'ils aient tous les deux vécu au même endroit, mais y étaient-ils en même temps ? Ont-ils pu se rencontrer ?

**Objectifs :** Calculer le nombre de noyaux restants au bout de n demi-vies.

Utiliser une représentation graphique pour déterminer une demi-vie.

Utiliser une décroissance radioactive pour une datation.



## Document 1: Les isotopes des éléments chimiques

La matière qui nous entoure est constituée d'atomes qui est constitué essentiellement d'un noyau et d'un nuage d'électrons.

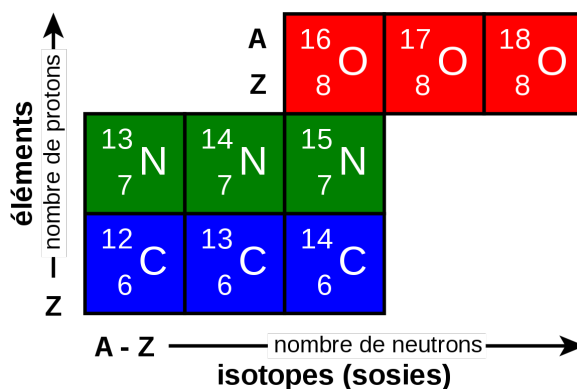
Le noyau est formé de la réunion de protons et de neutrons.

Les neutrons et protons sont appelés nucléons.

Le nombre atomique  $Z$  correspond au nombre de protons. Pour un même élément, on peut avoir divers noyaux de même  $Z$ , mais comportant un nombre de neutrons différents. Ce sont les ISOTOPES.

Ils ont les mêmes propriétés chimiques mais leur masse diffère. Certains isotopes sont stables d'autres radioactifs (instables).

Le carbone 14 est l'un des isotopes du carbone 12.



## Document 2: Les isotopes des éléments chimiques

Le carbone 14,  $^{14}\text{C}$ , est produit régulièrement et qu'il est donc en proportion constante. Lorsqu'un animal ou une plante meurt, son métabolisme cesse et son carbone n'est plus renouvelé : le carbone 14 qu'il contient au moment de sa mort se désintègre en azote 14. La connaissance du rapport  $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$  dans les restes d'êtres vivants fournit la durée écoulée depuis la mort. Au-delà de 50 000 ans, la quantité de  $^{14}\text{C}$  restante dans l'échantillon est insuffisante pour permettre une mesure fiable.

On mesure la quantité des isotopes  $^{14}\text{C}$  et  $^{12}\text{C}$  à l'aide d'un spectromètre de masse.

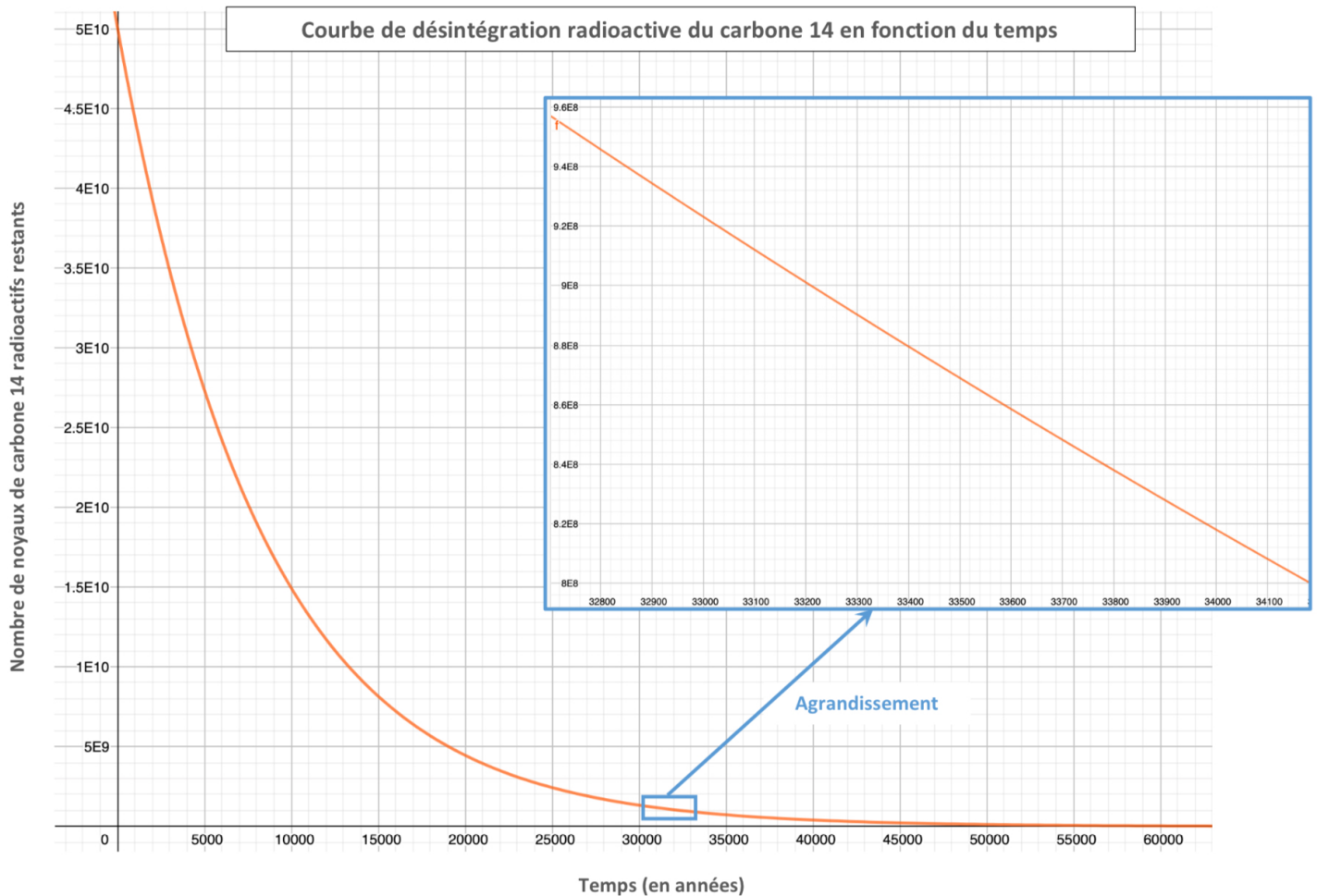
### Vocabulaire:

Temps de demi-vie  $t_{\frac{1}{2}}$  : La demi-vie est la durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux radioactifs d'un échantillon.

Exemple: Le temps de demi-vie du carbone 14 est de l'ordre de 5570 ans.

## Document 3: Courbe de désintégration radioactive du carbone 14

E10 signifie « fois 10 puissance 10 » c'est-à-dire «  $\times 10^{10}$  »



## Document 4: Les résultats de l'analyse des ossements d'Ander et de Sapiand par la méthode du carbone 14

Nature des échantillons sélectionnés	Nombre de noyaux de carbone 14 restants
Ossements de Sapiand	$8,2 \times 10^8$
Ossements d'Ander	$9,4 \times 10^8$

- 1) À partir de quand le nombre de noyaux de carbone 14 **commence-t-il** à diminuer dans un organisme ?
- 2) **Déterminer** graphiquement le nombre de noyaux radioactifs restants 10 000 ans après la mort de l'organisme qu'on souhaite dater.
- 3) **Déterminer** graphiquement la valeur de temps de demi-vie du carbone. Comparer le résultat avec celui attendu.
- 4) **Déterminer** graphiquement le nombre de noyaux restants après 2 demi-vies.

5) Pourquoi n'est-il pas possible de **déterminer** l'âge d'un échantillon ayant plus de 50 000 ans ?

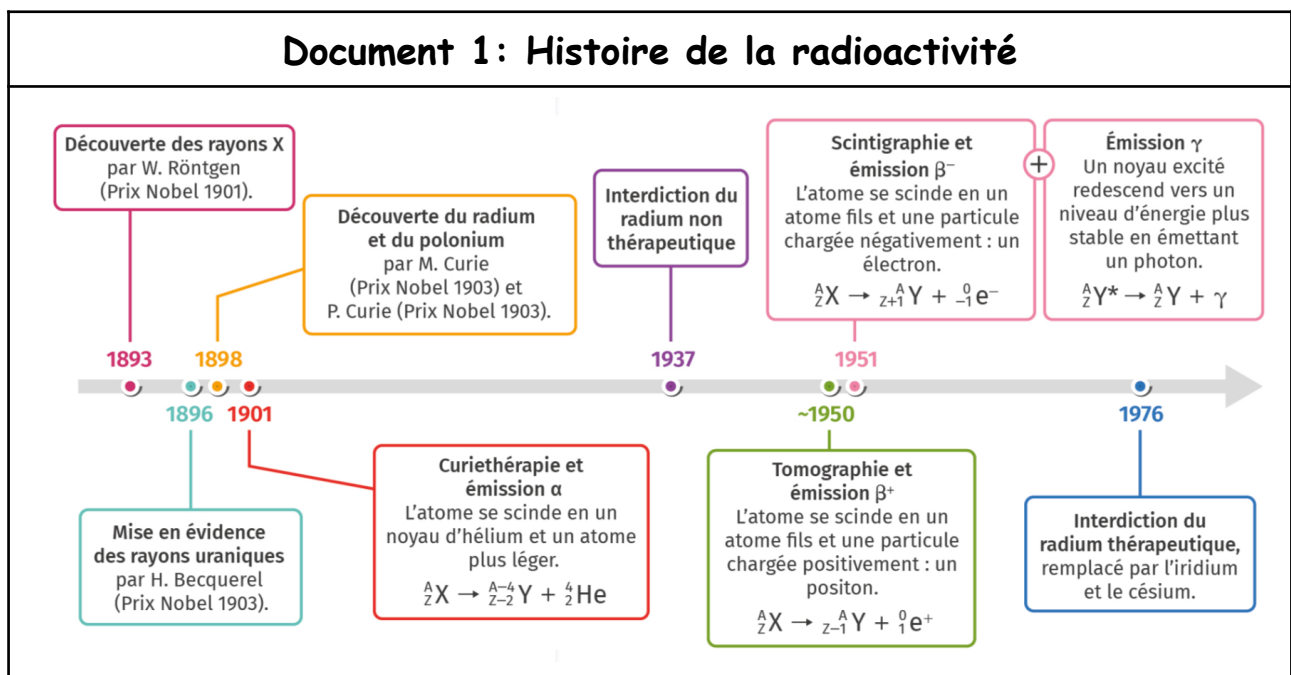
6) À partir des résultats précédents et à l'aide de la courbe, **répondre** à la question de l'enquête : **Ander** est-il un suspect dans le massacre de Sapiand ?

## Activité 4: Les usages de la radioactivité et leurs liens avec la santé

**Introduction** : L'utilisation de noyaux radioactifs dans le domaine médical est une avancée scientifique fascinante qui a révolutionné le diagnostic et le traitement de nombreuses affections. L'incorporation contrôlée de matériaux radioactifs dans des procédures médicales offre des informations précieuses sur le fonctionnement du corps humain et permet des traitements ciblés pour diverses pathologies. Cependant, cette utilisation bénéfique des isotopes radioactifs s'accompagne de précautions rigoureuses et de mesures de sécurité strictes pour minimiser les risques associés aux radiations, garantissant ainsi la santé et la sûreté des patients, du personnel médical et de l'environnement.

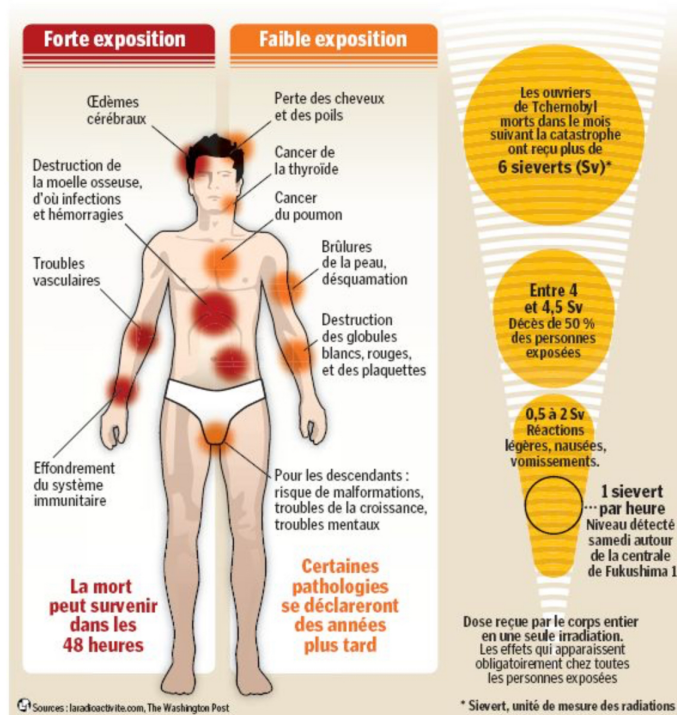
**Problématique** : Comment l'utilisation croissante des noyaux radioactifs à des fins médicales offre-t-elle des avantages significatifs en termes de diagnostic et de traitement, tout en soulevant des enjeux majeurs liés à la sécurité radiologique et à la gestion des risques pour les patients, le personnel médical et l'environnement ?

**Objectifs** : Expliquer l'utilisation de noyaux radioactifs dans un contexte médical. Citer quelques précautions inhérentes à l'utilisation de substances radioactives.



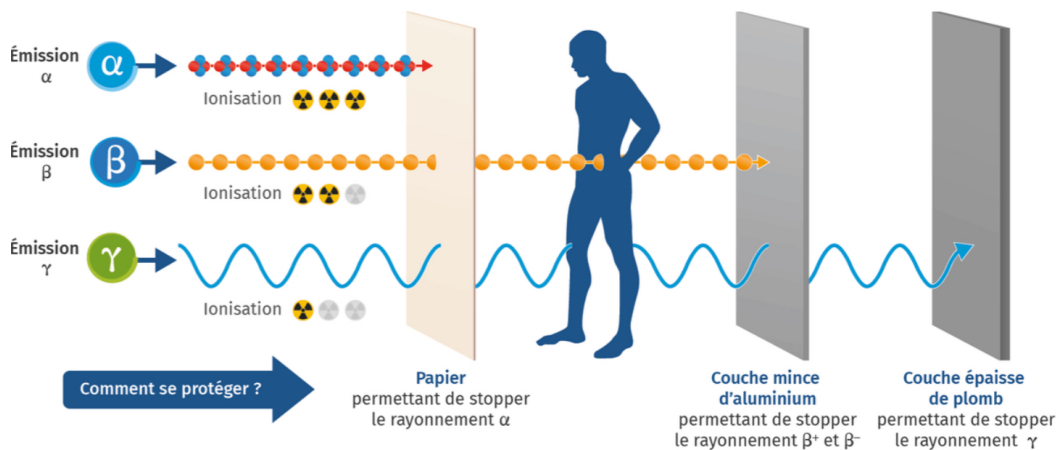
## Document 2: Effet des radiations nucléaires sur le corps humain

### LES EFFETS DES RADIATIONS NUCLÉAIRES



<http://img.over-blog.com/578x641/3/26/82/45/00000-Vrac/Les-effets-des-radiations-sur-le-corps-humain---natures-pau.jpg>

## Document 3: Radioprotection



Crédits : lelivrescolaire.fr

En France la radioprotection relève de l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) qui a fixé une dose annuelle admissible de :

- 20 mSv (milisievert) pour les travailleurs soumis aux rayonnements.
- 1 mSv pour la population (sauf dans le cas médical).

Pour se protéger des rayonnements ionisants il faut : s'éloigner de la source ; mettre des écrans (composés d'éléments chimiques de numéros atomiques Z élevés) et diminuer la durée d'exposition.

## Document 4: Les débuts de la curiethérapie

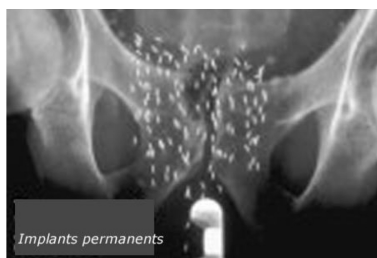
En décembre 1898, Marie et Pierre Curie découvrent un nouvel élément chimique qu'ils appellent « radium ». Marie Curie développe, avec le Dr. Regaud, la « curiethérapie ». C'est une méthode qui consistait à irradier localement une tumeur cancéreuse en introduisant de fines aiguilles contenant du radium.

Les médecins avaient très vite compris que les rayonnements ionisants tuaient plus facilement les cellules cancéreuses mais, les médecins recouraient le plus souvent à une irradiation massive aux rayons X d'une grande partie du corps pour détruire la tumeur d'un seul coup. Cela entraînait fréquemment la nécrose des tissus sains environnants sans garantir l'absence de récurrence de la tumeur. On employait des sels de radium, placés contre les tumeurs ce qui limitait leur usage aux cancers accessibles de l'extérieur et de petite taille.

Aiguilles contenant les sels de radium, utilisées en curiethérapie dans les années 1910.



Implants contenant de l'iode-125 utilisés en curiethérapie de la prostate



Radiographie du bassin d'un patient traité par curiethérapie. Les implants apparaissent sous forme de bâtonnets blancs.



### Évolution de la radioactivité des implants en fonction du temps

Pourcentage de radioactivité restante (%)	100	73	53	38	20	11	5
Temps (semaines)	0	4	8	12	20	28	36

D'après [http://www.laradioactivite.com/site/pages/Projet\\_Curietherapie.htm](http://www.laradioactivite.com/site/pages/Projet_Curietherapie.htm)

Le radium est un élément radioactif. On estime aujourd'hui sa demi-vie à 1622 ans.

## Document 5: Radioprotection après la pose des implants radioactifs lors d'une curiethérapie de la prostate

La plupart des rayonnements émis par l'iode-125 sont absorbés dans l'organe à traiter, une fraction touche néanmoins des structures proches, comme le rectum ou la vessie par exemple. À cette inquiétude légitime pour le patient, s'ajoute un risque pour l'entourage tant que la radioactivité n'a pas décliné suffisamment : le patient est lui-même radioactif. Les contacts avec les autres personnes sont autorisés. Quelques précautions sont cependant nécessaires pendant les 6 mois qui suivent l'implantation. En pratique, vous devez notamment éviter les contacts directs et prolongés avec les jeunes enfants (par exemple, les prendre sur vos genoux) et les femmes enceintes.

D'après <https://www.e-cancer.fr/Patients-et-proches/Les-cancers/Cancer-de-laprostate/Curietherapie/Quel-deroulement>

1) À partir de vos connaissances, **expliquer** ce qu'est un élément radioactif.

2) À partir de l'exploitation du document 4, **surligner** la bonne réponse :

La curiethérapie a été utilisée dès le début du XX<sup>ème</sup> siècle pour soigner des cancers, car :

2a. Les rayonnements produits empêchent les récives de la tumeur.

2b. Les rayonnements produits détruisent les cellules des tumeurs.

2c. Les rayonnements produits pouvaient être facilement dosés et localisés avec précision sur la tumeur.

2d. Les rayonnements produits provoquent uniquement une nécrose des cellules cancéreuses.

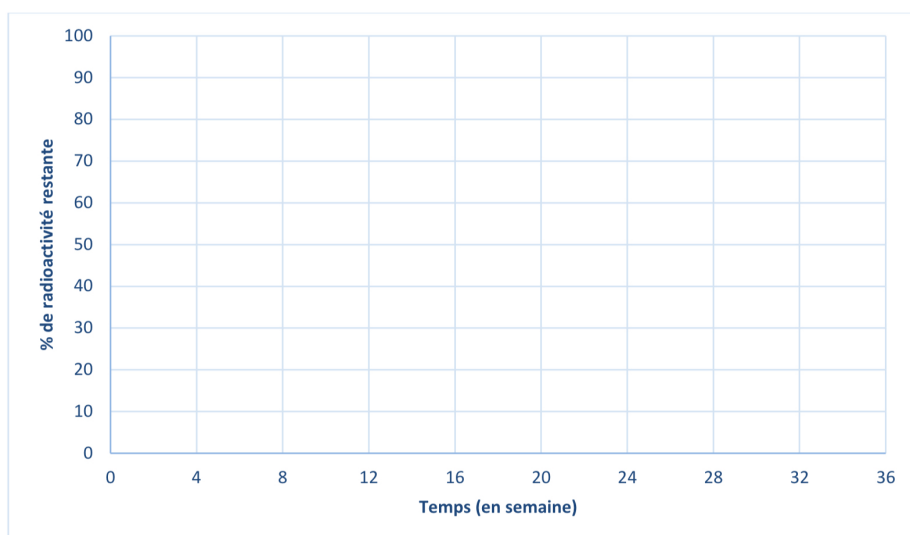
3) **Réaliser** la courbe de décroissance radioactive de l'iode-125 représentant le pourcentage de l'activité restante en fonction du temps.

4) **Déterminer** le temps de demi-vie de l'iode-125.

5) L'activité des implants utilisés en curiethérapie est considérée comme faible lorsque l'activité restante est inférieure à 15 % de l'activité initiale. **Déterminer** au bout de combien de temps les implants auront une activité faible.

6) **Justifier** la durée des précautions à prendre par le patient concernant son entourage.

7) À l'aide de l'ensemble des documents, **donner** un intérêt d'utiliser l'iode-125 plutôt que le radium pour la curiethérapie. Une réponse argumentée est attendue.



## Cours

### 1) Formation des éléments chimiques

Lors du Big Bang, l'hydrogène et de l'hélium, se sont formés à partir de températures et de pressions élevées. Les réactions nucléaires intenses ont généré ces éléments légers, qui ont ensuite été dispersés dans l'univers en expansion. Des étoiles massives se sont formées à partir de ces gaz et des réactions de fusion nucléaire ont créé des éléments plus lourds.

### 2) Principaux éléments chimiques

- L'Univers : Hydrogène, Hélium.
- La Terre : Oxygène, Hydrogène, Fer, Silicium, Magnésium.
- Les êtres vivants : Hydrogène, Oxygène, Carbone, Azote.

### 3) Fission, fusion et désintégration

**Fission** : Division d'un noyau atomique lourd en deux noyaux plus légers.

**Fusion** : Fusion de noyaux atomiques légers pour former un noyau plus lourd.

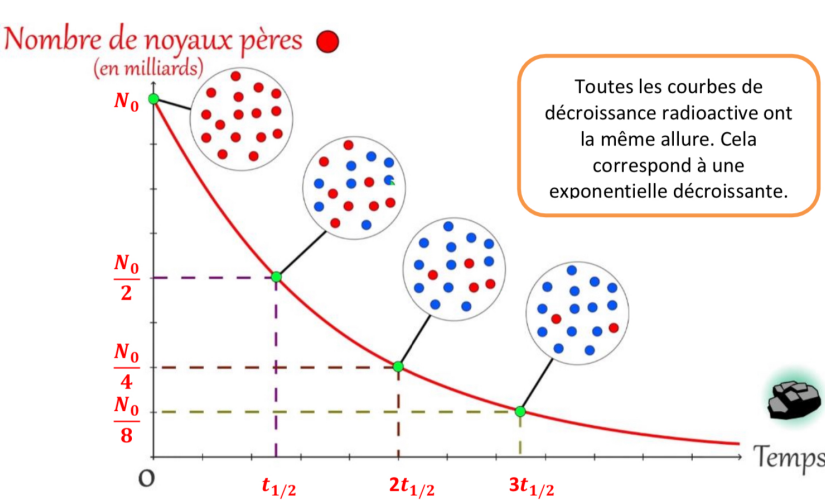
**Désintégration** : Transformation spontanée d'un noyau atomique instable en un noyau plus stable, accompagnée de l'émission de particules ou de rayonnements.

#### 4) Radioactivité

La radioactivité est un phénomène naturel au cours duquel certains noyaux atomiques instables subissent une désintégration spontanée car ils sont instables. Lors de cette désintégration, des particules ou des rayonnements électromagnétiques sont émis.

L'instant de désintégration d'un noyau radioactif est aléatoire.

La demi-vie d'un noyau radioactif est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux initialement présents dans un échantillon microscopique soit désintégrée. Cette demi-vie est caractéristique du noyau radioactif considéré.



#### 5) La datation carbone 14

La datation au carbone 14 est une méthode utilisée pour déterminer l'âge approximatif de matériaux organiques anciens. Lorsque les êtres vivants respirent et se nourrissent, ils absorbent du carbone, y compris du carbone 14. Une fois qu'ils meurent, l'absorption de carbone cesse et le carbone 14 commence à se désintégrer.

**Méthode pour dater un échantillon** : Déterminer le nombre

initiale  $N_0$  de noyaux radioactifs. Calculer le nombre de noyaux restants après une demi-vie soit la moitié du nombre  $N_0$ . Repérer le point sur la courbe ayant pour ordonnée la valeur  $N_0/2$ . Lire l'abscisse de ce point qui correspond à la demi-vie  $t_{1/2}$ .

#### 6) Radioactivité en médecine et protection

La médecine nucléaire est une branche de la médecine qui utilise des substances radioactives pour le diagnostic et le traitement de diverses affections médicales. Elle inclut des techniques telles que la scintigraphie, la tomographie par émission de positons, la thérapie à base de radiations, et d'autres procédures visant à détecter et traiter des maladies en utilisant des substances radioactives.

Les risques d'exposition aux radiations comprennent des dommages aux cellules et à l'ADN, pouvant entraîner des problèmes de santé à court et à long terme, tels que le cancer, les mutations génétiques et les troubles de la moelle osseuse.

Les moyens de protection comprennent: la réduction du temps d'exposition aux sources de radiations et l'augmentation la distance par rapport à la source, l'utilisation de matériaux d'absorption des radiations pour réduire l'exposition, le port de vêtements ou d'équipements spécifiques, la mise en place de protocoles et de contrôles de sécurité stricts dans les installations utilisant des radiations...