

Amérique du sud 2004 Du Big Bang aux éléments chimiques 10 points

Tous les extraits encadrés sont tirés de « L'Univers des étoiles » de L.BOTTINELLI et J.L. BERTHIER.

1. Remontons l'écoulement du temps jusqu'à l'instant le plus originel de l'histoire universelle. Au début était la lumière ! Inconsistance du monde contenant une incroyable, une fantastique quantité d'énergie. Tout ce que l'univers compte actuellement de galaxies, d'étoiles, de planètes, d'êtres ou d'objets étaient là en germe sous forme d'énergie immatérielle.
La théorie du Big Bang sans cesse réaffirmée explique que, durant le premier quart d'heure, de ce chaos énergétique très agité sont nées les particules de matière fondamentales : protons, neutrons, électrons... Après les particules de base, mais bien plus tard, des galaxies prennent forme, puis des étoiles apparaissent dans les galaxies. Par le truchement de la nucléosynthèse, la variété des éléments chimiques voit enfin le jour dans les étoiles...
Ainsi, l'Univers s'est développé transformant son capital initial énergie en capital matière...

- 1.1.** À quelle équivalence fait allusion le texte, en particulier dans la dernière phrase ?
1.2. Donner une relation permettant de définir cette équivalence. Préciser la signification de chaque terme employé dans cette relation ainsi que son unité dans le système international.

2. La température de l'univers qui diminue au cours du temps, va régler durant le premier quart d'heure la création de tel ou tel type de particule... Mais créer une particule implique nécessairement de créer simultanément son antiparticule, toutes deux de masse identique...

Calculer l'énergie de masse nécessaire à la création de la paire particule-antiparticule positron-électron de masse $2 m_e$. L'exprimer en J, puis en MeV.

On donne :
célérité de la lumière : $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
masse du positon = masse de l'électron = $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
l'électron volt : $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

3. Au bout du premier quart d'heure, lorsque la température a chuté jusqu'à 300 millions de degrés environ, les protons et les neutrons, rescapés de l'annihilation matière-antimatière, s'associent en noyaux légers, essentiellement en noyaux d'hydrogène, de deutérium et d'hélium...

Donner la composition du noyau de deutérium ${}^2_1\text{H}$

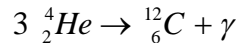
4. 30 millions d'années plus tard, c'est au cœur même des étoiles que la nature va poursuivre son œuvre. Cela commence par la [...] thermonucléaire de l'hydrogène en hélium. Cette transformation occupe l'essentiel de la vie des étoiles et ne nécessite pour ainsi dire, qu'une température de 10 millions de degrés. Son bilan s'écrit :

$$4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_1\text{e}$$

- 4.1.** Que représente ${}^0_1\text{e}$?
4.2. Dans la deuxième ligne du texte ci-dessus, le nom de la réaction nucléaire mise en jeu a été effacé. Quel est-il ?
4.3. Enoncer les lois de conservation qu'elle vérifie.
4.4. Calculer la perte de masse lors de cette réaction nucléaire.
On donne : masse d'un noyau d'hydrogène $1 {}^1_1\text{H}$: $m_{\text{H}} = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$
masse d'un noyau d'hélium $4 {}^4_2\text{He}$: $m_{\text{He}} = 6,6447 \times 10^{-27} \text{ kg}$
masse de la particule ${}^0_1\text{e}$: $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
4.5. En déduire l'énergie mise en jeu lors de cette réaction nucléaire.

5. Sur la fin de leur existence (stade de dilatation de l'enveloppe extérieure ou géante rouge), une contraction brutale du cœur des étoiles, accompagnée d'une forte élévation de température (jusqu'à 100 millions de degrés) permet la formation d'éléments plus lourds.

Le processus qui conduit au carbone par fusion de l'hélium est appelé triple alpha et son bilan s'écrit :



Qu'est-ce qu'une particule alpha ? Justifier le nom du processus.

6. ...Seules les étoiles de masse supérieure ou égale à trois masses solaires, atteignant des températures plus élevées, ont le privilège de créer des éléments encore plus lourds. A 800 millions de degrés, le carbone fusionne en magnésium ($Z = 12$), à 1 milliard de degrés, l'oxygène ($Z=8$) fusionne en silicium ($Z = 14$) et à 4 milliards de degrés, le silicium fusionne en fer ($Z = 26$).

6.1. Définir l'énergie de liaison.

6.2. Etablir l'équation nucléaire relative à l'énergie de liaison d'un noyau de carbone 12.

6.3. Calculer l'énergie moyenne de liaison d'un noyau de carbone 12. Exprimer le résultat en Joule, puis en eV et en Mev.

On donne : masse d'un proton :

$$m_p = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

masse d'un neutron :

$$m_n = 1,6749 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

masse du noyau de carbone $^{12}_6\text{C}$: $m_C = 1,9944 \times 10^{-26} \text{ kg}$

6.4. En déduire l'énergie moyenne de liaison par nucléon en Mev d'un noyau de carbone 12.

Le tableau suivant donne les énergies moyennes de liaison par nucléon de quelques noyaux :

| | ^4_2He | $^{56}_{26}\text{Fe}$ | $^{238}_{92}\text{U}$ |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| $\frac{E_l}{A}$ en MeV/nucléon | 7,1 | 8,8 | 7,6 |

6.5. Parmi ces trois noyaux, lequel est le plus stable ? Justifier.

6.6. En utilisant la courbe d'Aston donnée en ANNEXE 1 (à rendre avec la copie), répondre aux questions suivantes :

6.6.1. Comment évolue la stabilité d'un noyau quand son nombre de nucléons augmente ? Distinguer trois domaines.

6.6.2. Quels sont les deux types de réactions nucléaires qui permettent d'accéder au maximum de stabilité ? Préciser dans quel domaine.

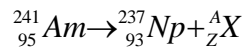
6.6.3. Justifier pourquoi la synthèse des éléments chimiques au cœur des étoiles s'arrête à l'élément fer.

7. Les centrales nucléaires actuelles produisent de l'énergie par des réactions de **fission nucléaire**. Ces réactions produisent des déchets radioactifs qui sont classés par catégories, suivant leur demi-vie et la valeur de leur activité. Ainsi les déchets dits de « moyenne activité » (catégorie B) ont pour particularité d'avoir une demi-vie supérieure à 30 ans et d'émettre un rayonnement α d'activité supérieure à $3,7 \times 10^3 \text{ Bq}$ pour 1 gramme de noyaux radioactifs.

L'« américium 241 » fait partie des éléments contenus dans les déchets générés par une centrale nucléaire.

Le graphique donné en annexe 4 représente le nombre de noyaux d'un échantillon de 1,0 g d'« américium 241 ».

- 7.1. Rappeler la loi de décroissance radioactive en faisant intervenir N_0 et la constante radioactive λ .
- 7.2. Définir le temps de demi-vie $t_{1/2}$ de l'« américium 241 ».
- 7.3. En déduire la relation $\ln 2 = \lambda \cdot t_{1/2}$.
- 7.4. En utilisant la courbe précédente et en précisant la méthode utilisée, déterminer ce temps de demi-vie.
- 7.5. En déduire la valeur de $\lambda = 5,1 \times 10^{-11}$ S.I. Préciser l'unité λ .
- 7.6. L'« américium 241 » se désintègre suivant la réaction



De quel type de radioactivité s'agit-il ? Justifier la réponse.

- 7.7. L'activité A est reliée au nombre de noyaux de l'échantillon par la relation $A = \lambda \cdot N$. En utilisant l'équation de la courbe (réponse à la question 7.1.), déterminer la durée t_1 en années, au bout de laquelle un gramme d'« américium 241 » a une activité égale à $A = 3,7 \times 10^3$ Bq. Au bout de cette durée, l'« américium 241 » issu d'une centrale nucléaire peut être considéré comme un déchet de fission dit de « faible activité ».

| | | |
|---------------------|---------------------------------------|------------------|
| Afrique 2007 | Etude cinétique d'une réaction | 10 points |
|---------------------|---------------------------------------|------------------|

Les deux parties sont indépendantes.

1. La transformation étudiée.

Le 2-chloro-2-méthylpropane réagit sur l'eau pour donner naissance à un alcool. Cet alcool est le 2-méthylpropan-2-ol.

La réaction est lente et totale.

On peut modéliser cette transformation par :



Données:

Masse molaire du 2-chloro-2-méthylpropane : $M = 92,0 \text{ g.mol}^{-1}$; masse volumique : $\rho = 0,85 \text{ g.mL}^{-1}$.

La conductivité d'un mélange est donnée par $\sigma = \sum_i \lambda_i^0 [X_i]$ où $[X_i]$ désigne la concentration des espèces ioniques présentes dans le mélange, exprimée en mol.m^{-3} .

Conductivités molaires ioniques : $\lambda^0(\text{H}_3\text{O}^+) = 349,8 \cdot 10^{-4} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$; $\lambda^0(\text{Cl}^-) = 76,3 \cdot 10^{-4} \text{ S.m}^2.\text{mol}^{-1}$

Protocole observé :

Dans une fiole jaugée, on introduit 1,0 mL de 2-chloro-2-méthylpropane et de l'acétone afin d'obtenir un volume de 25,0 mL d'une solution S.

Dans un bécher, on place 200,0 mL d'eau distillée dans laquelle est immergée la sonde d'un conductimètre. Puis à l'instant $t = 0$ min, on déclenche un chronomètre en versant 5,0 mL de la solution S dans le bécher.

Un agitateur magnétique permet d'homogénéiser la solution obtenue, on relève la valeur de la conductivité du mélange au cours du temps.

- 1.1. Montrer que la quantité initiale de 2-chloro-2-méthylpropane introduite dans le dernier mélange est $n_0 = 1,8 \cdot 10^{-3}$ mol.
- 1.2. Compléter le tableau d'avancement donné en **ANNEXE 3 (à rendre avec la copie)**. Quelle relation lie $[H_3O^+]$ et $[Cl^-_{(aq)}]$ à chaque instant ?
- 1.3. Donner l'expression de la conductivité σ du mélange en fonction de $[H_3O^+]$ et $[Cl^-]$ et des conductivités molaires ioniques..
- 1.4. Donner l'expression de la conductivité σ du mélange en fonction uniquement de $[H_3O^+]$ et des conductivités molaires ioniques. On pourra s'aider de la réponse donnée à la question 1.2.
- 1.5. En vous aidant des réponses précédentes, donner l'expression de la conductivité σ du mélange en fonction de l'avancement x de la réaction, du volume V du mélange réactionnel et des conductivités molaires ioniques des ions présents dans la solution.
- 1.6. Pour un temps très grand, la conductivité notée σ_∞ du mélange ne varie plus. Sachant que $\sigma_\infty = 0,374 \text{ S.m}^{-1}$, vérifier que la transformation envisagée est bien totale.
- 1.7. Exprimer le rapport $\frac{\sigma}{\sigma_\infty}$. En déduire l'expression de l'avancement x en fonction de σ , σ_∞ et de l'avancement maximal x_{max} de la réaction.
- 1.8. Pour $\sigma = 0,200 \text{ S.m}^{-1}$, quelle est la valeur de x ?

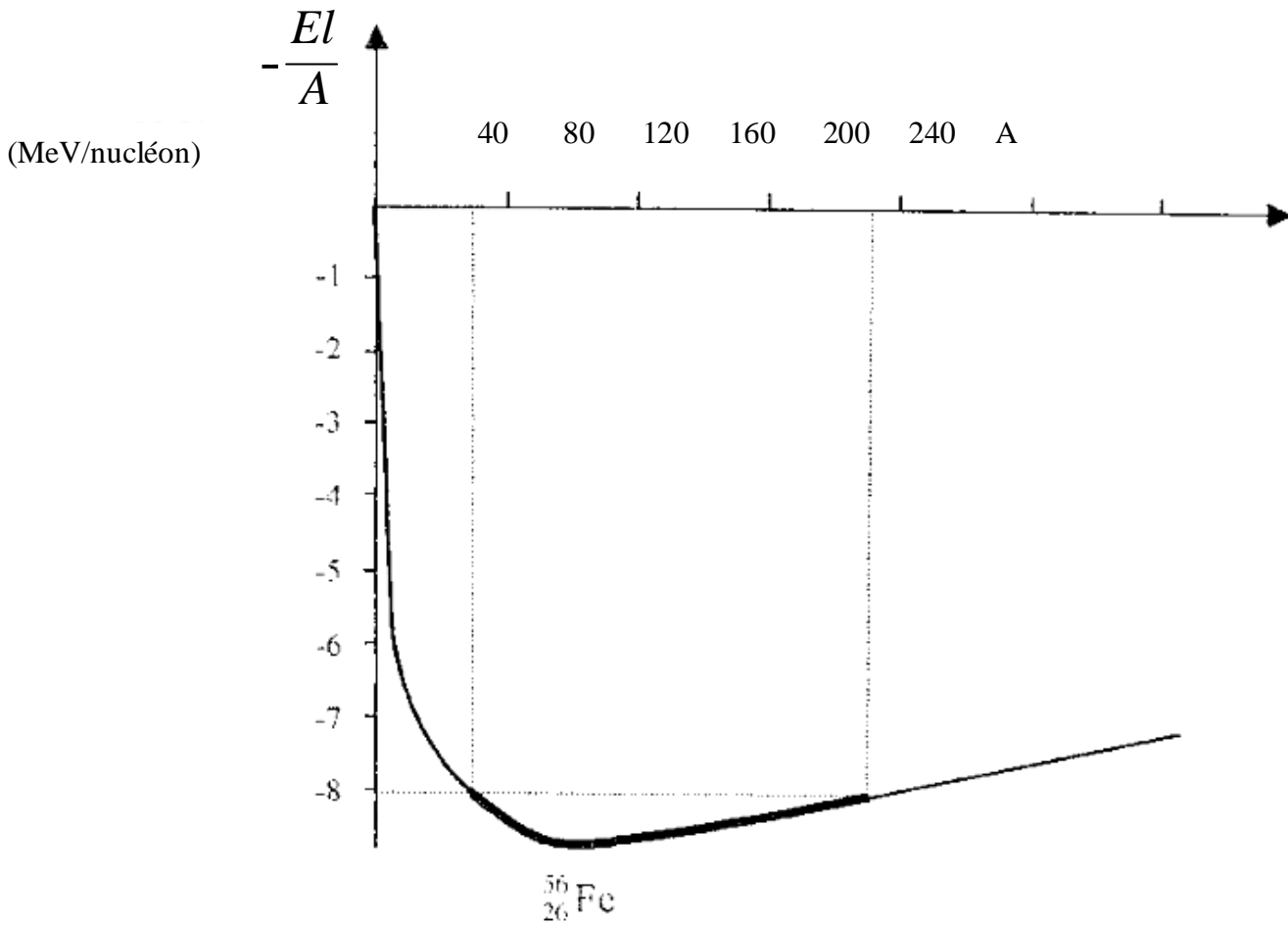
2. Exploitation des résultats.

L'expression établie en 1.7 permet de construire la courbe montrant les variations de l'avancement x de la réaction en fonction du temps. La courbe est donnée en **ANNEXE 4 (à rendre avec la copie)**.

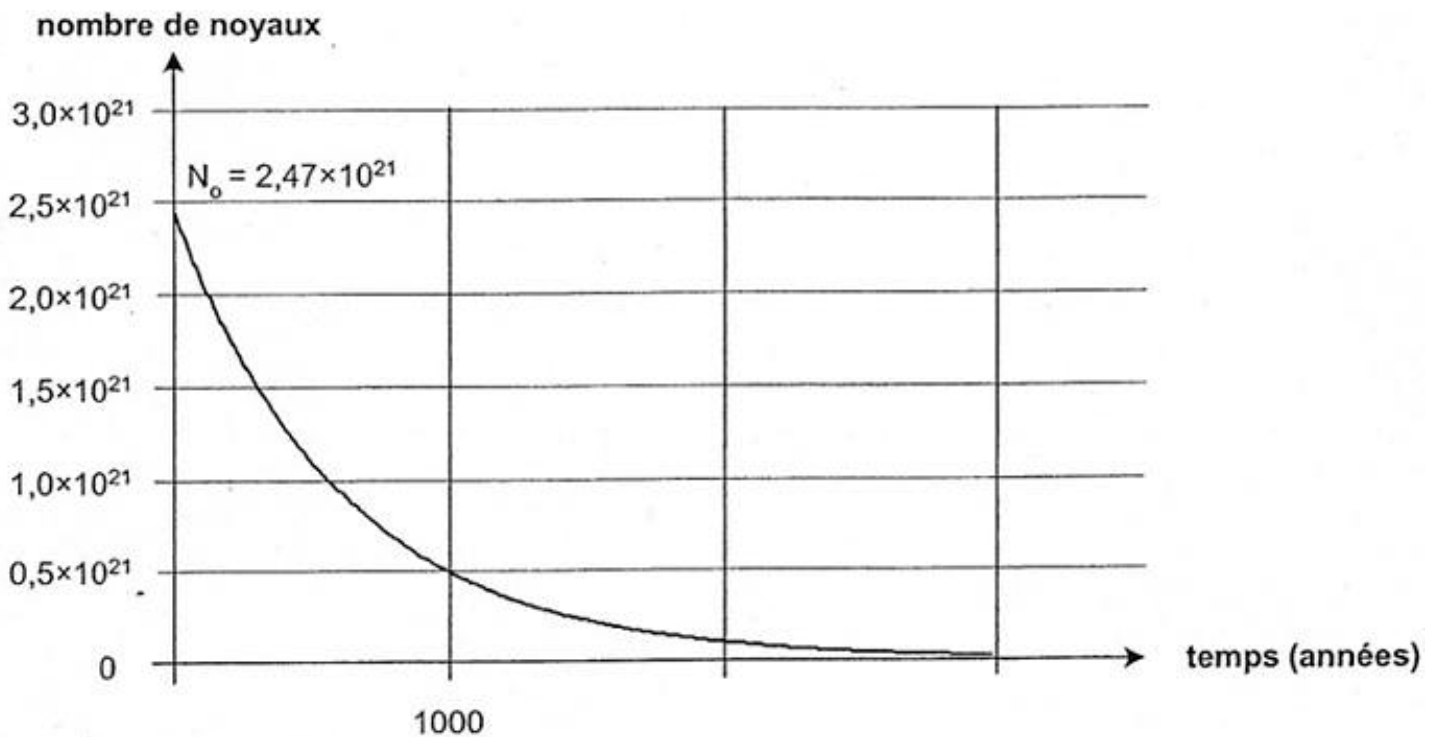
- 2.1. Rappeler l'expression de la vitesse v en fonction de l'avancement x .
- 2.2. Expliquer la méthode qui permettrait d'évaluer graphiquement cette vitesse à un instant donné.
- 2.3. À l'aide de la courbe, indiquer comment évolue cette vitesse au cours du temps.
- 2.4. Quel facteur cinétique permet de justifier cette évolution ?
- 2.5. Définir le temps de demi-réaction et estimer graphiquement sa valeur.
- 2.6. On réalise maintenant la même expérience à une température plus élevée.
 - 2.5.1. Dessiner qualitativement sur le graphique de l'**ANNEXE 3** l'allure de la courbe montrant les variations de l'avancement x au cours du temps.
 - 2.5.2. La valeur du temps de demi-réaction est-elle identique, inférieure ou supérieure à la valeur précédente ? Justifier.

ANNEXE PHYSIQUE (à rendre avec la copie)

ANNEXE 1.



ANNEXE 2.



| |
|---|
| ANNEXE CHIMIE (à rendre avec la copie) |
|---|

ANNEXE 3.

| | | | | | | |
|---------------------------|------------------|---|-------|--|--|--|
| <i>Équation chimique</i> | | $\text{CH}_3)_3\text{C-Cl}_{(l)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} = (\text{CH}_3)_3\text{C-OH}_{(l)} + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-$ | | | | |
| <i>État du système</i> | Avancement (mol) | Quantités de matière (en mol) | | | | |
| <i>État initial</i> | 0 | n_0 | excès | | | |
| <i>État intermédiaire</i> | x | | excès | | | |
| <i>État final</i> | x_{max} | | excès | | | |

ANNEXE 4.

