

# BACCALAUREAT *blanc* GENERAL

SESSION FEVRIER 2010

---

## PHYSIQUE-CHIMIE OBLIGATOIRE

SERIE S

---

Durée de l'épreuve : 3h30. Coefficient 6

**L'usage de la calculatrice est autorisé.**

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte un exercice de chimie et deux exercices de physique présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10.

Le candidat doit traiter les trois exercices dans l'ordre qu'il souhaite, ceux-ci étant indépendants les uns des autres et **sur trois copies différentes.**

Exercice n°1 : Comme un poisson dans l'eau.	7 points
Exercice n°2 : Mécanique du vol du ballon sonde.	6,5 points
Exercice n°3 : Du Big Bang aux éléments chimiques.	6,5 points

## Exercice n°1 : Comme un poisson dans l'eau .

L'aquariophilie est une passion qui touche de plus en plus d'amateurs mais aussi de néophytes. De nombreux facteurs peuvent contribuer à un déséquilibre dangereux pour la vie et la santé des poissons. Il est donc nécessaire de contrôler régulièrement la qualité de l'eau.

Le pH de l'eau est la première grandeur qu'il faut mesurer, au moins une fois par semaine, et ajuster éventuellement. En effet, certains poissons ne peuvent évoluer que dans un milieu acide (c'est le cas des poissons d'Amazonie comme les Néons ou les Tétras), d'autres dans un milieu basique (c'est le cas des poissons d'Amérique Centrale comme les Platy et les Molly). Aucun de ces poissons ne tolère une trop forte teneur en ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) ou en ions nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) : le cycle de l'azote doit donc être surveillé en évitant soigneusement la surpopulation de l'aquarium et l'excès de nourriture.

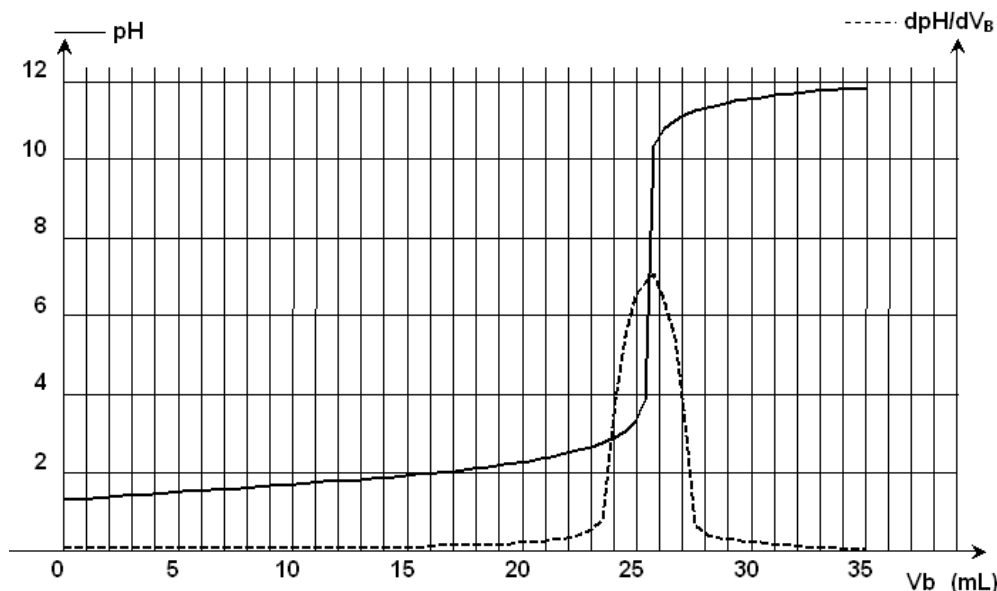
D'après "Poissons et aquariums" - Édition Larousse

L'exercice suivant est destiné à préciser certains points de ce texte. On étudie d'abord un produit commercial utilisé pour diminuer le pH de l'eau de l'aquarium ; on s'intéresse ensuite à la formation des ions ammonium.

**Les parties 1. et 2. sont indépendantes.**

### 1. Étude d'une solution commerciale destinée à diminuer le pH de l'aquarium

Sur l'étiquette du produit on peut lire que la solution commerciale  $S_0$  est constituée d'acide chlorhydrique ( $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-_{(aq)}$ ) mais aucune concentration n'est indiquée. La transformation conduisant à l'acide chlorhydrique étant totale, la concentration  $c_0$  de la solution commerciale est égale à la concentration en ions  $\text{H}_3\text{O}^+$ . On cherche à déterminer cette concentration en faisant un titrage pH-métrique. Pour cela on dilue 50 fois la solution commerciale et on procède au titrage d'un volume  $V_A = 20,0$  mL de la solution diluée  $S_A$  à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium  $S_B$  ( $\text{Na}^+_{(aq)} + \text{HO}^-_{(aq)}$ ) de concentration molaire en soluté apporté  $c_B = 4,0 \times 10^{-2}$  mol.L<sup>-1</sup>. On obtient la courbe de la **figure 1**. On a également fait apparaître la courbe représentant la dérivée du pH en fonction du volume de soude versé.



1.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage. *Vous ne ferez pas apparaître les ions spectateurs.*

1.2. Équivalence :

1.2.1. Définir l'équivalence.

1.2.2. En déduire la valeur de la concentration des ions oxonium dans la solution diluée  $S_A$ .

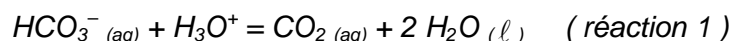
1.2.3. Montrer que dans la solution commerciale, la concentration des ions oxonium  $[H_3O^+]$  est **voisine** de  $2,5 \text{ mol.L}^{-1}$ . *Cette valeur sera utilisée pour la suite de l'exercice.*

1.3. *On désire diminuer le pH de l'eau de l'aquarium et l'amener à une valeur proche de 6 alors qu'il était initialement égal à 7. Sur le mode d'emploi du fabricant on peut lire qu'il faut verser, en une fois, 20 mL de la solution commerciale dans 100 L d'eau. Pour simplifier le calcul, on considérera que le volume final reste égal à 100 L.*

Quelle serait la valeur du pH final de l'eau de l'aquarium s'il n'y avait qu'une simple dilution des ions  $H_3O^+$  ?

1.4. *L'eau étant toujours plus ou moins calcaire, elle contient des ions hydrogénocarbonate ( $HCO_3^-(aq)$ ) dont il faut tenir compte. Les ions  $H_3O^+$  introduits vont, en effet, réagir avec ces ions.*

*L'équation associée à la réaction considérée est la suivante :*



1.4.1. Donner l'expression de la constante d'équilibre  $K_1$  associée à l'équation de la réaction 1 en fonction des concentrations des différentes espèces chimiques présentes.

1.4.2. Exprimer cette constante d'équilibre en fonction de la constante d'acidité  $K_A$  du couple :



Déterminer sa valeur numérique.

Donnée :  $K_A = 10^{-6,4}$

1.5. *L'eau utilisée pour l'aquarium est très calcaire. Dans cette eau, les concentrations molaires initiales des espèces mises en jeu dans la réaction 1 sont telles que le quotient de réaction initial de cette réaction vaut :  $Q_{r,i} = 5,0$ .*

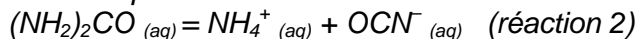
1.5.1. En utilisant le critère d'évolution spontanée, montrer que des ions  $H_3O^+$  sont consommés si l'eau est calcaire.

1.5.2. Le pH final sera-t-il supérieur, égal ou inférieur au pH calculé à la question 1.3. ? Justifier.

1.5.3. *Dans la notice du fabricant on trouve la phrase suivante : "Assurez-vous par des tests réguliers que votre eau est suffisamment calcaire car sinon il pourrait y avoir des risques de chutes acides".* Expliquer.

## 2. Étude de la formation des ions ammonium.

*L'urée, de formule  $(NH_2)_2CO$ , est un polluant de l'aquarium. Elle est contenue dans les déjections de certains poissons et conduit, au cours d'une réaction lente, à la formation d'ions ammonium  $NH_4^+$  et d'ions cyanate  $OCN^-$  selon l'équation :*



*L'étude de la cinétique de cette réaction 2 peut être réalisée par conductimétrie. Pour cela on prépare un volume  $V = 100,0 \text{ mL}$  d'une solution d'urée de concentration molaire en soluté apporté égale à  $c = 0,020 \text{ mol.L}^{-1}$  et on suit sa décomposition en la maintenant dans un bain marie à  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ . À différentes dates, on mesure la conductivité de la solution.*

*La conductivité  $\sigma$  de cette solution peut s'exprimer en fonction des concentrations des espèces ioniques en solution et des conductivités molaires ioniques (les ions  $H_3O^+$  et  $HO^-(aq)$  sont en très faible quantité et pourront ne pas être pris en compte). On a donc la relation suivante :*

$$\sigma = \lambda_{NH_4^+} [NH_4^+] + \lambda_{OCN^-} [OCN^-]$$

2.1. Montrer que la concentration de la solution en ions  $NH_4^+(aq)$  peut être déterminée à partir de la mesure de la conductivité de la solution, les conductivités molaires ioniques étant connues.

## 2.2. Évolution du système chimique

2.2.1. Compléter littéralement le tableau descriptif de l'évolution du système, figurant **EN ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

2.2.2. En déduire la relation, à chaque instant, entre la concentration en ions  $\text{NH}_4^+$  (aq) en solution et l'avancement de la réaction.

2.2.3. Calculer l'avancement maximal  $x_{\text{max}}$ .

2.3. On peut ainsi représenter l'évolution de l'avancement de la réaction en fonction du temps (voir **figure 2 EN ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**).

En déduire le taux d'avancement  $\tau$  de la réaction à l'instant de date  $t = 110$  min.

2.4. La vitesse volumique de réaction est donnée par la relation :  $v(t) = \frac{1}{V} \left( \frac{dx}{dt} \right)$  où  $x$  est l'avancement de la réaction à l'instant de date  $t$  et  $V$  le volume de la solution.

Décrire, en utilisant la courbe précédente, l'évolution de cette vitesse. Laisser les tracés, éventuellement utilisés pour votre explication, visibles sur l'annexe.

2.5. En poursuivant l'expérience pendant une durée suffisante, on obtient une concentration finale :  $[\text{NH}_4^+]_f = 2,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

Déterminer le taux d'avancement final de cette transformation. Cette transformation est-elle totale ?

2.6. Définir puis déterminer graphiquement le temps de demi-réaction.

2.7. Dans l'aquarium, la valeur de la température est seulement de  $27^\circ\text{C}$ . Tracer sur la **figure 2 EN ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, l'allure de la courbe précédente à cette température. Justifier.

2.8. Les ions ammonium finissent par se transformer en ions nitrate dont l'accumulation risque de compromettre la vie des poissons. Ces derniers ions constituent un aliment essentiel pour les plantes vertes de l'aquarium. Expliquer pourquoi dans les livres d'aquariophilie, on dit que l'aquarium doit être "bien planté".

ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE DE CHIMIE

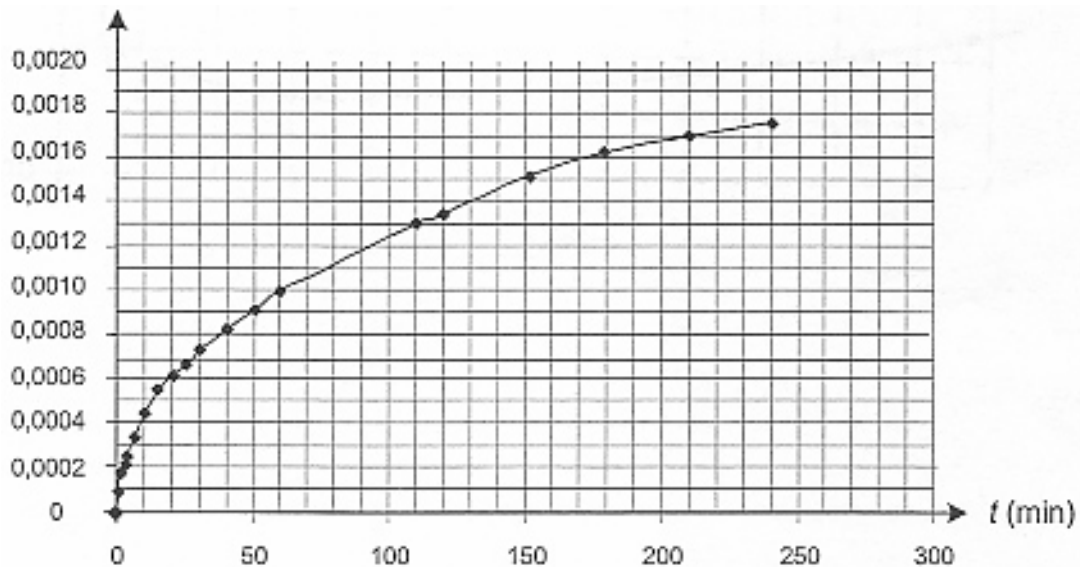
2. Étude de la formation des ions ammonium.

Tableau d'évolution du système chimique

État	Avancement (mol)	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}_{(aq)} = \text{NH}_4^+_{(aq)} + \text{OCN}^-_{(aq)}$		
		Quantités de matière (mol)		
		$(\text{NH}_2)_2\text{CO}_{(aq)}$	$\text{NH}_4^+_{(aq)}$	$\text{OCN}^-_{(aq)}$
État initial	$x = 0$			
État en cours d'évolution	$x$			
État final en supposant la transformation totale	$x_{max}$			

Figure 2 : Cinétique de la décomposition de l'urée.

Avancement  $x$  en mol.



## Exercice n° 2 : Mécanique du vol d'un ballon sonde

Un ballon sonde, en caoutchouc mince très élastique, est gonflé à l'hélium. Une nacelle attachée au ballon emporte du matériel scientifique afin d'étudier la composition de l'atmosphère.

En montant, le ballon grossit car la pression atmosphérique diminue. Sa paroi élastique finit par éclater à une altitude généralement comprise entre 20 et 30 kilomètres. Après l'éclatement, un petit parachute s'ouvre pour ramener la nacelle et son matériel scientifique au sol.

Il faut ensuite localiser la nacelle, puis la récupérer pour exploiter l'ensemble des expériences embarquées.

### 1. Mécanique du vol

L'objectif de cette partie est d'étudier la mécanique du vol du ballon sonde à faible altitude (sur les premières centaines de mètres). On peut alors considérer que l'accélération de la pesanteur  $g$ , le volume du ballon  $V_b$  et la masse volumique  $\rho$  de l'air restent constantes.

On modélisera la valeur  $f$  de la force de frottement de l'air sur le système étudié par l'expression:

$f = K \cdot \rho \cdot v^2$  où  $K$  est une constante pour les altitudes considérées et  $v$  la vitesse du centre d'inertie du système {ballon + nacelle}.

On supposera qu'il n'y a pas de vent (le mouvement s'effectue dans la direction verticale) et que le volume de la nacelle est négligeable par rapport au volume du ballon.

Le système {ballon + nacelle} est étudié dans un référentiel terrestre considéré comme galiléen.

#### 1.1. Condition de décollage du ballon.

##### Respecter les notations de l'énoncé.

1.1.1 Établir le bilan des forces exercées sur le système {ballon + nacelle}, lorsque le ballon vient juste de décoller. Indiquer le sens et la direction de chaque force.

1.1.2. La poussée d'Archimède.

Donner l'expression littérale de la valeur  $F_A$  de la poussée d'Archimède.

1.1.3. Soit  $M$  la masse du système.

Appliquer au système la seconde loi de Newton (seule la relation vectorielle est demandée).

1.1.4. La vitesse initiale du ballon (juste après le décollage) étant considérée comme nulle, à quelles conditions (direction et sens) doit satisfaire le vecteur accélération pour que le ballon puisse s'élever? En déduire que  $M < \rho \times V_b$  (on projettera la relation obtenue à la question 1.1.3. **sur un axe vertical orienté vers le haut et on négligera les frottements de l'air**).

1.1.5. En déduire la masse maximale de matériel scientifique que l'on peut embarquer dans la nacelle.

Données :  $\rho = 1,22 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$V_b = 9,0 \text{ m}^3$

Masse du ballon (enveloppe + hélium) :  $m = 2,10 \text{ kg}$

Masse de la nacelle vide:  $m' = 0,50 \text{ kg}$

#### 1.2. Ascension du ballon.

1.2.1. À partir de la question 1.1.3. et en conservant l'axe défini à la question 1.1.4., montrer que l'équation différentielle régissant le mouvement du ballon peut se mettre sous la forme (**on ne néglige plus les frottements de l'air**):

$A \cdot v^2 + B = \frac{dv}{dt}$  et donner les expressions de A et B.

La masse de matériel embarqué étant de 2,0 kg, l'application numérique donne  $A = -0,53 \text{ m}^{-1}$  et  $B = 13,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

1.2.2. Une méthode de résolution numérique, la méthode d'Euler, permet de calculer de façon approchée la vitesse instantanée du ballon à différentes dates en utilisant la relation suivante :

$v(t_{n+1}) = v(t_n) + \Delta v(t_n)$  avec  $\Delta v(t_n) = a(t_n) \cdot \Delta t$ .

$t_{n+1} = t_n + \Delta t$  où  $\Delta t$  est le pas de résolution.

Par cette méthode on souhaite calculer la vitesse  $v_1$  à l'instant de date  $t_1 = 0,05$  s et la vitesse  $v_2$  à l'instant de date  $t_2 = 0,1$  s, la vitesse initiale du ballon étant nulle. On prendra  $\Delta t = 0,05$  s.

En utilisant la méthode d'Euler, l'équation différentielle de la question 1.2.1. et les valeurs de A et B, recopier et compléter le tableau suivant :

Date $t$ en s	Valeur de la vitesse $v(t_n)$ en $\text{m.s}^{-1}$	Valeur de l'accélération $a(t_n)$ en $\text{m.s}^{-2}$	$\Delta v(t_n)$ en $\text{m.s}^{-1}$
$t_0 = 0,0$	0	13,6	
$t_1 = 0,05$			
$t_2 = 0,10$			

### 1.3. Vitesse limite du ballon

1.3.1. Donner l'expression littérale de la vitesse limite  $v_\ell$  du ballon en fonction de A et B.

1.3.2. Calculer cette vitesse limite.

1.3.3. La méthode d'Euler donne le graphique donné en **ANNEXE 2**.

Comparer la vitesse limite calculée au 1.3.2. à la valeur lue sur le graphique (faire apparaître cette valeur sur le graphique) (le calcul de l'écart relatif n'est pas demandé).

## 2. Le poids et la poussée d'Archimède varient-ils avec l'altitude ?

Le tableau suivant donne quelques valeurs de grandeurs mesurées au voisinage de la Terre.

Altitude $h$ (en m)	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000
Accélération de la pesanteur $g_h$ (en $\text{m.s}^{-2}$ )	9,8066	9,8036	9,8005	9,7974	9,7943	9,7912	9,7882	9,7851	9,7820	9,7789
Masse volumique de l'air $\rho_h$ (en $\text{kg.m}^{-3}$ )	1,22	1,11	1,00	0,90	0,82	0,73	0,66	0,59	0,52	0,46

### 2.1 Le poids.

En calculant l'écart relatif  $\frac{\Delta g}{g} = \left| \frac{g_{9000} - g_0}{g_0} \right|$ , montrer que pour les altitudes figurant dans le tableau

précédent, l'accélération de la pesanteur peut être considérée comme constante à moins de 1 % près.

On peut donc considérer que le poids est constant entre les altitudes 0 m et 9000 m.

### 2.2. La poussée d'Archimède.

En s'aidant de la phrase soulignée dans l'introduction de l'exercice et en considérant qualitativement l'évolution avec l'altitude de chaque paramètre intervenant dans la poussée d'Archimède (dont la valeur est notée  $F_A$ ), choisir et justifier la conclusion qui convient parmi les propositions suivantes :

- $F_A$  augmente.
- $F_A$  reste constante.
- $F_A$  diminue.
- On ne peut pas conclure.

### Exercice n°3 : Du Big Bang aux éléments chimiques

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...

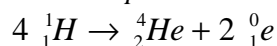
Calculer l'énergie de masse nécessaire à la création de la paire particule-antiparticule positon-électron de masse ( $2 \times m_e$ ). L'exprimer en J, puis en MeV.

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.** 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.** Quelles sont les lois de conservation qu'elle vérifie. Les énoncer.

**4.4.** Calculer la perte de masse lors de cette réaction nucléaire.

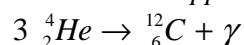
On donne : masse d'un noyau d'hydrogène 1 ( ${}^1_1\text{H}$ ) :  $m_{\text{H}} = 1,6726 \times 10^{-27} \text{ kg}$

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  ${}^0_1\text{e}$  :  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

**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 (  $Z = 26$  ) ...

On donne : énergie de liaison d'un noyau de carbone  $^{12}_6\text{C}$  :  $E_l=92,2 \text{ MeV}$

**6.1.** Définir l'énergie de liaison.

**6.2.** Calculer l'énergie moyenne de liaison par nucléon d'un noyau de carbone 12.

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

	$^4_2\text{He}$	$^{56}_{26}\text{Fe}$	$^{238}_{92}\text{U}$
$\frac{E_l}{A}$ en MeV/nucléon	7,1	8,8	7,6

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

**6.4.** En utilisant la courbe d'Aston donnée en **Annexe 3**, répondre aux questions suivantes :

**6.4.1.** Comment évolue la stabilité d'un noyau quand son nombre de nucléons augmente ? Noter et expliquer votre réponse sur la courbe d'Aston donnée en **ANNEXE 3** à rendre avec votre copie.

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

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

**7.** ...La synthèse des noyaux plus lourds que le fer se réalise par un processus de capture de neutrons lors de l'explosion finale d'une grosse étoile en supernova. Deux scénarios peuvent se produire :

$1^{\text{ère}}$  possibilité : le noyau tout neuf, riche d'un neutron supplémentaire, est stable et peut éventuellement capturer d'autres neutrons.

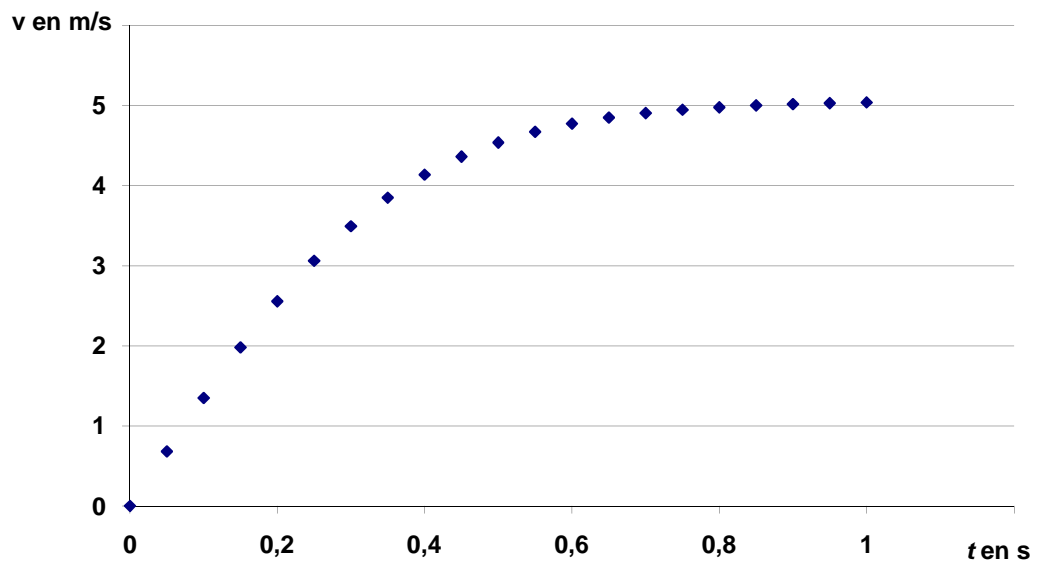
$2^{\text{ème}}$  possibilité : le noyau nouvellement créé est instable et subit une désintégration  $\beta^-$ .

**7.1.** Le premier scénario permet-il de créer des **éléments** chimiques différents ? Justifier.

**7.2.** Soit  $^A_Z\text{X}$ , le noyau nouvellement créé dans le second scénario et Y, son noyau fils. Ecrire l'équation générale de sa désintégration en fonction de A et Z.

**7.3.** Peut-on, a priori, obtenir tous les éléments chimiques de numéro atomique supérieur à Z ? Justifier.

**ANNEXE n°2 :**



**ANNEXE n°3 :**

