

## Devoir de Sciences Physiques n°5 Classe de TS1

### Partie Physique ( 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 :  $c=2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

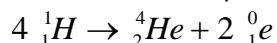
masse du positon = masse de l'électron =  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

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.** 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.** Énoncer les lois de conservation qu'elle vérifie.

**4.4.** Calculer la perte de masse lors de cette réaction nucléaire, ainsi que l'énergie qu'elle dégage..

On donne : masse d'un noyau d'hydrogène  ${}^1_1\text{H}$  :

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

masse d'un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$  :

$$m_{\text{He}} = 6,6447 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

masse de la particule  ${}^0_1\text{e}$  :

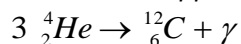
$$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

célérité de la lumière :

$$c = 2,998 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

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  ${}^{12}_6\text{C}$  :  $E_l=92,2\text{ MeV}$

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, répondre aux questions suivantes :

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

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<sup>ère</sup> possibilité : le noyau tout neuf, riche d'un neutron supplémentaire, est stable et peut éventuellement capturer d'autres neutrons.

2<sup>ème</sup> 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.

## Partie Chimie ( 10 points )

«Quoi, il est pas frais mon poisson ? » Cétautomatix, le forgeron du village d'Astérix et d'Obélix, adore mettre en cause la fraîcheur des produits du poissonnier Ordralfabetix. La raison ? Une odeur. Mais pas n'importe laquelle. L'odeur de poisson avarié fait partie de ces effluves nauséabonds et tenaces que l'on frémit de rencontrer. Les substances chimiques responsables de la mauvaise odeur du poisson sont des composés azotés, les amines, comme la triméthylamine de formule  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ . Celle-ci est produite à la mort du poisson lors de la décomposition des protéines de l'animal par des bactéries. Les «recettes de grand-mère» ne manquent pas pour atténuer ou se débarrasser des odeurs de poisson. La plupart d'entre elles tournent autour d'ajout de citron ou de vinaigre dans la poêle, la casserole ou sur les mains.



Extraits de «Histoires de Savoir» 27 février 2008 Figaro.fr / Sciences

Dans cet exercice, on s'intéresse tout d'abord au dosage d'un vinaigre à usage culinaire puis au comportement de la triméthylamine dans l'eau et enfin à l'intérêt d'ajouter du vinaigre dans l'eau de cuisson d'un poisson. On admet que l'odeur nauséabonde du poisson ne provient que de la triméthylamine.

Les trois parties sont indépendantes.

### Données :

- produit ionique de l'eau à  $25^\circ\text{C}$  :  $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$  ;
- $\text{pK}_a$  du couple  $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) / \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$  à  $25^\circ\text{C}$  :  $\text{pK}_{a1} = 4,8$  ;
- ion triméthylammonium / triméthylamine :  $(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq}) / (\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq})$ , qu'on peut noter  $\text{BH}^+(\text{aq}) / \text{B}(\text{aq})$  ;
- $\text{pK}_a$  du couple  $(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq}) / (\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq})$  à  $25^\circ\text{C}$  :  $\text{pK}_{a2} = 9,8$ .

## 1. Dosage du vinaigre utilise en cuisine

Le vinaigre est une solution aqueuse diluée contenant essentiellement de l'acide éthanóïque de formule  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . La solution de vinaigre commerciale, notée  $S_0$ , étant trop concentrée, on la dilue 20 fois pour obtenir une solution de vinaigre diluée notée  $S_1$ .

On prélève précisément un volume  $V_1 = 10,0 \text{ mL}$  de solution diluée  $S_1$  de concentration  $C_1$ .

On réalise un dosage conductimétrique de la solution  $S_1$  par une solution titrante d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+ + \text{HO}^-$ ) de concentration  $C_b = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

La **figure 1 de l'annexe** représente la variation de la conductivité de la solution en fonction du volume  $V_b$  de solution titrante versé.

1.1. Écrire l'équation de la réaction support du dosage.

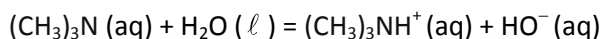
1.2. Déterminer graphiquement le volume  $V_e$  de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

1.3. Définir l'équivalence. En déduire la concentration molaire  $C_1$  en acide éthanóïque dans la solution  $S_1$ . On pourra s'aider éventuellement d'un tableau descriptif de l'évolution du système chimique.

## 2. Comportement de la triméthylamine dans l'eau.

On dispose d'un volume  $V = 50 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse de triméthylamine de concentration molaire apportée  $C = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . On mesure le pH de cette solution. Le pH-mètre indique 10,9.

L'équation de la réaction entre la triméthylamine et l'eau est:



2.1. Déterminer, à l'équilibre, la concentration  $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{eq}}$  en ions oxonium dans la solution à  $25^\circ\text{C}$ .

En déduire, à l'équilibre, la concentration  $[\text{HO}^-]_{\text{eq}}$  et la quantité de matière  $n(\text{HO}^-)_{\text{eq}}$  des ions hydroxyde dans la solution.

2.2. Calculer la quantité de matière  $n_0$  apportée en triméthylamine.

2.3. Compléter le tableau descriptif de l'évolution du système donné sur la **FIGURE 2 DE L'ANNEXE**.

2.4. En déduire l'avancement final  $x_f$  et l'avancement maximal  $x_{\max}$  de la réaction.

2.5. Calculer le taux d'avancement final  $\tau$  de la réaction. La transformation est-elle totale ?

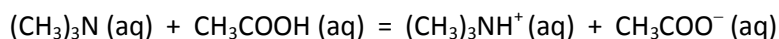
2.6. Montrer que le rapport  $\frac{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+]_{\text{éq}}}{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]_{\text{éq}}}$  est égal à  $\frac{x_f}{n_0 - x_f}$  et le calculer. En déduire l'espèce chimique prédominante dans la solution de triméthylamine.

2.7 Dresser le diagramme de prédominance du couple  $(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq}) / (\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq})$ . Ce diagramme confirme-t-il la nature de l'espèce prédominante déterminée à la question 2.6 ?

### 3. Intérêt d'ajouter du vinaigre à l'eau de cuisson du poisson

On ajoute du vinaigre à la solution aqueuse de triméthylamine. Le pH de la solution vaut alors 6,5.

3.1 Montrer que l'équation de la réaction entre la triméthylamine et l'acide éthanoïque s'écrit :



3.2. Donner l'expression littérale de la constante d'acidité  $K_a$  du couple  $(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq}) / (\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq})$ .

En déduire l'expression du rapport  $\frac{[(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+]_{\text{éq}}}{[(\text{CH}_3)_3\text{N}]_{\text{éq}}}$  en fonction de  $\text{p}K_a$  et de pH.

3.3. Calculer la valeur de ce rapport.

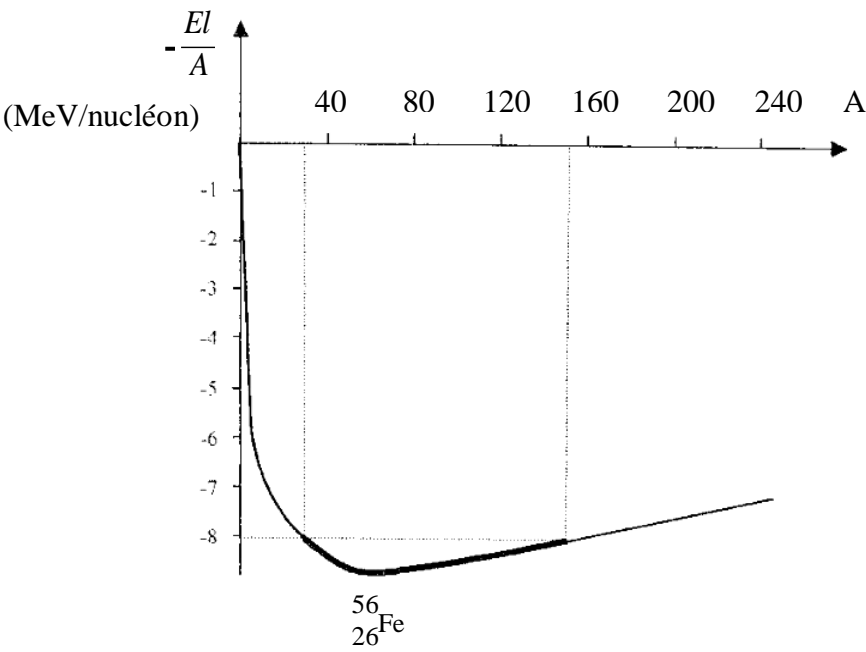
3.4. Quel intérêt présente l'ajout de vinaigre à l'eau de cuisson d'un poisson ?

Feuille Annexe

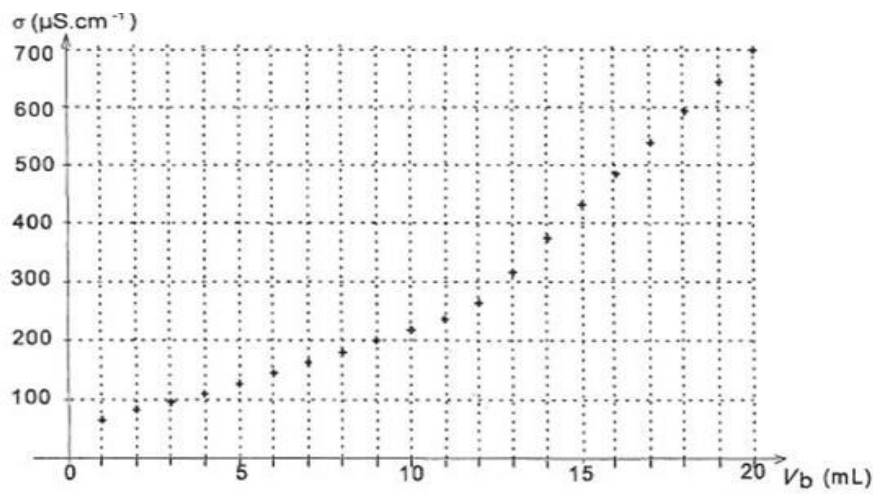
Nom :

Prénom

Courbe d'Aston question 6.4 Partie Physique



Chimie Question 1.2 Partie 1. Figure 1



Chimie Question 2.3 Partie 2. Figure 2

Équation de la réaction		$(\text{CH}_3)_3\text{N}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) = (\text{CH}_3)_3\text{NH}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$			
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0				
Au cours de la transformation	$x$				
État final	$x_f$				
État final en supposant la transformation totale	$x_{\text{max}}$				