

Corrigé du bac 2014 : Physique- Chimie Obligatoire Série S – Amérique du Nord

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2014

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement Obligatoire

Durée de l'épreuve : 3 heures 30 – Coefficient : 6

L'usage des calculatrices est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Correction proposée par un professeur de physique-chimie
pour le site www.sujetdebac.fr

EXERCICE I - ONDES ET PARTICULES (6 points)

Partie A : Expérience des fentes d'Young

1. Le point A est dirigé vers le centre d'une frange brillante, il s'y produit donc un phénomène d'interférences constructives.

Le point B quant à lui est dirigé vers le centre d'une frange sombre, il s'y produit donc un phénomène d'interférences destructives.

2. Les ondes (a) et (c) ont même phase à l'origine ; on dit qu'elles sont en phase. Elles sont donc à l'origine de l'interférence pointée en A.

Les ondes (a) et (b) (ou (b) et (c)) ont des phases à l'origine différentes ; on dit qu'elles sont en opposition de phase. Elles sont donc à l'origine de l'interférence pointée en B.

Partie B : particule de matière et onde de matière

1.1. D'après le document 2, on remarque qu'avec seulement 50 impacts, donc peu d'électrons émis (un peu plus de 50, le reste des électrons s'étant perdus en chemin), leur collision avec l'écran survient à des endroits imprévisibles.

Si nous n'arrivons déjà pas à prédire la position de plus de 50 électrons, nous n'arriverons donc pas à prédire la position d'un seul électron !

1.2. On remarque également d'après le document 2 que pour un grand nombre d'impacts, on obtient une figure qui n'est pas sans rappeler une figure d'interférences optique, voilà pourquoi nous pouvons considérer dans ce cas que l'électron est une onde.

Cette expérience met bien en évidence le caractère dual onde-corpuscule pour l'électron.

2.1. Passage à travers la plaque percée de deux fentes

2.1.1. Utilisons la formule de Broglie : $p = \frac{h}{\lambda} = m_e \cdot v$

D'où on déduit que $\lambda = \frac{h}{m_e \cdot v}$

Ainsi, la longueur d'onde théorique vaut :

$$\lambda = \frac{6.6 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \times 1,3 \cdot 10^8} = 5,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

2.1.2. Utilisons la formule

$$i = \frac{\lambda \cdot D}{b}$$

On a $i = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}$, $D = 35 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ et $b = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ (sans tenir compte dans un premier temps des incertitudes).

On obtient donc une longueur d'onde expérimentale qui vaut :

$$\lambda = \frac{i \cdot b}{D} = \frac{2,0 \cdot 10^{-6} \times 0,8 \cdot 10^{-6}}{35 \cdot 10^{-2}} = 4,6 \cdot 10^{-12} \text{ m} \cong \mathbf{5 \text{ pm}}$$

Calculons maintenant l'incertitude relative à la mesure de la longueur d'onde :

$$\Delta\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta i}{i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2} = 4,6 \cdot 10^{-12} \sqrt{\left(\frac{0,2}{2,0}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{0,8}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{35,0}\right)^2} = 1,4 \text{ pm} \cong \mathbf{2 \text{ pm}}$$

La valeur de la longueur d'onde expérimentale est donc de $\lambda = (5 \pm 2) \text{ pm}$ et celle théorique vaut $\lambda = (5.6 \pm 0,5) \text{ pm}$, ce qui est tout à fait cohérent.

2.2. Passage à travers une seule fente de la plaque

2.2.1. Le phénomène physique ici mis en jeu est la diffraction.

2.2.2. Sur le schéma de l'expérience, on peut facilement déduire la relation entre la distance D et θ :

$$\tan \theta = \frac{OM}{D}$$

On approxime que $\tan \theta \cong \theta$ d'où

$$\theta = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{35 \cdot 10^{-2}} = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ rad}$$

2.2.3. L'équation qui lie la longueur d'onde avec l'écart angulaire est :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} \text{ donc } \lambda = \theta \cdot a$$

$$\lambda = 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} = 4,6 \cdot 10^{-12} \text{ m} \cong \mathbf{5 \text{ pm}}$$

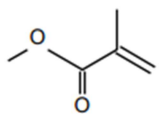
Le résultat est de l'ordre du picomètre, ce qui correspond bien avec nos résultats précédents.

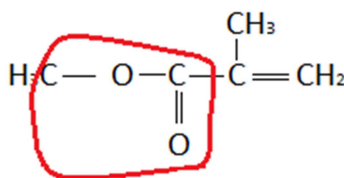
Remarque : L'allure de la figure du document 3 représentant la densité de probabilité de présence des électrons sur l'écran après passage par la fente est un sinus cardinal :

$$\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x}$$

EXERCICE II : LA SYNTHÈSE DU MÉTHACRYLATE DE MÉTHYLE (9 points)

1. La molécule de méthacrylate de méthyle ou MAM

1.1. La formule semi-développée de cette molécule  est :



Le groupe caractéristique entouré ici en rouge correspond au groupe Ester, de la famille du même nom.

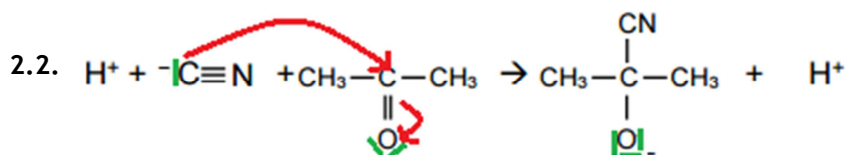
1.2. Cette molécule ne possède pas de carbone asymétrique (aucun de ses carbones n'est relié à trois groupes différents). Il n'y a pas non plus d'isomérie Z/E au niveau de la double liaison carbone-carbone : cette molécule ne possède donc pas de stéréoisomères.

2. Synthèse du MAM par le procédé MGC (Mitsubishi Gas Chemicals)

2.1. La réaction A correspond à une réaction d'addition. En effet, on part de deux réactifs, et nous n'en obtenons qu'un seul à la fin.

La réaction C correspond à une réaction de substitution. En effet, les groupes NH_2 et O-CH_3 ont été échangés.

La réaction D correspond à une réaction d'élimination. En effet, on part d'un réactif et nous en obtenons deux à la fin. (un groupe H_2O a été éliminé lors de la réaction)



Les flèches traduisent un déplacement d'électron, du site donneur vers un site accepteur.

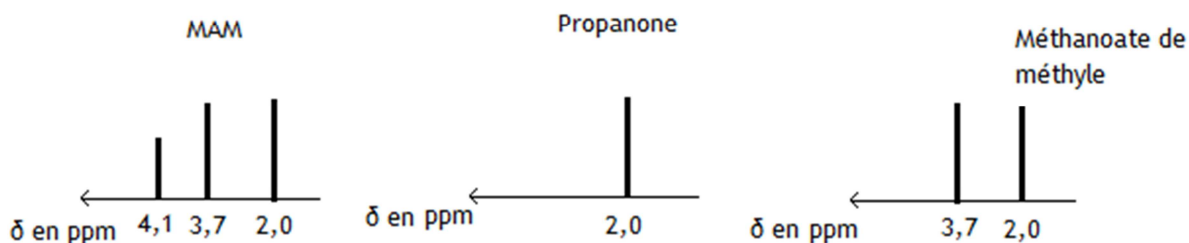
Le carbone de l'ion cyanure agit en tant que nucléophile : il va aller donner un électron au carbone lié à l'oxygène dans la molécule de propanone, qui est un site électrophile du fait justement de la présence de cet oxygène.

2.3.1. Ces trois molécules se ressemblent, mais elles pourront quand même être identifiées grâce à un spectre IR. En effet, pour la propanone, on observera un pic entre 1650 et 1730 cm^{-1} dû à la présence du groupe $\text{C=O}_{\text{cétone}}$.

Pour le méthanoate de méthyle, on observera un pic entre $1700 - 1740\text{ cm}^{-1}$ dû à la présence du groupe $\text{C=O}_{\text{ester}}$, ainsi qu'un autre pic situé entre $1050 - 1450\text{ cm}^{-1}$ dû à la présence du groupe $\text{C}_{\text{tet}}=\text{O}$. Le MAM possèdera les mêmes pics que le méthanoate de méthyle, avec un pic en plus situé entre $1625 - 1685\text{ cm}^{-1}$ qui correspond à la double liaison C=C .

Remarque : Pour différencier la propanone du méthanoate de méthyle, on se basera surtout sur l'absence ou présence du pic correspondant au groupe $\text{C}_{\text{tet}}=\text{O}$, ceux des groupes $\text{C=O}_{\text{cétone}}$ et $\text{C=O}_{\text{ester}}$ étant difficilement différenciables en pratique car très similaires.

2.3.2. Allure des spectres RMN grâce aux données en début d'énoncé :

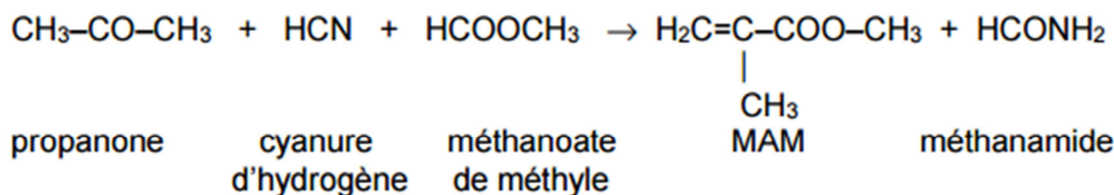


On remarque que les espèces sont également différenciables grâce aux spectres RMN.

2.3.3. Les deux spectroscopies permettent de suivre l'évolution des réactions qui vont finalement produire le MAM.

En effet, elles permettent donc de déterminer le moment auquel sera formé ce dernier puisque sur le spectre IR apparaîtra un pic situé entre $1625 - 1685\text{ cm}^{-1}$ qui correspondra à la double liaison C=C qui se formera, et sur le spectre RMN on observera l'apparition d'un signal situé en $4,1\text{ ppm}$.

2.4. On suppose que les réactions chimiques sont totales. Reprenons l'équation suivante :



Gardons en tête le but de la question : calculer les masses des réactifs pour produire une tonne de MAM. Connaissant donc la masse de MAM voulue, exprimons la quantité de matière de MAM associée :

$$n_{MAM} = \frac{m_{MAM}}{M_{MAM}} = \frac{10^6}{100,0} = 10^4 \text{ mol}$$

Les coefficients stœchiométriques de l'équation sont tous à 1. D'où on en déduit la relation :

$$n_{MAM} = \frac{m_{MAM}}{M_{MAM}} = n_{propanone} = \frac{m_{propanone}}{M_{propanone}}$$

Puis,

$$m_{propanone} = \frac{m_{MAM} \cdot M_{propanone}}{M_{MAM}} = \frac{10^6 \cdot 58,0}{100,0} = \mathbf{0,580 \text{ t}}$$

En suivant le même raisonnement pour le méthanoate de méthyle et pour HCN, on obtient :

$$m_{methanoate} = \frac{m_{MAM}}{M_{MAM}} \cdot M_{methanoate} = \frac{10^6 \cdot 60,0}{100,0} = \mathbf{0,600 \text{ t}}$$

$$m_{HCN} = \frac{m_{MAM}}{M_{MAM}} \cdot M_{HCN} = \frac{10^6 \cdot 27,0}{100,0} = \mathbf{0,270 \text{ t}}$$

3. Synthèse du MAM et respect de l'environnement

3.1. Nous savons d'après le document 3 que l'économie d'atomes se calcule de la manière suivante :

$$E_A = \frac{a \times M(\text{produit recherché})}{\sum b_i \times M_i(\text{réactif})} \text{ avec } a \text{ et } b_i \text{ les nombres stœchiométriques associés.}$$

Ainsi, pour le procédé isobutène, l'économie d'atomes vaut :

$$E_A = \frac{1 \times M_{MAM}}{1 \times M_{isobutène} + \frac{3}{2} \times M_{O_2} + 1 \times M_{méthanol}} = \frac{100,0}{56,0 + \frac{3}{2} \times 32,0 + 32,0} = 0,735$$

Parmi les autres valeurs d'économies d'atomes citées, celle pour le procédé isobutène est la plus proche de 1 ; il s'agit donc du procédé le plus efficace en termes d'économie d'atomes et donc celui qui génère le moins de déchets.

3.2. Reprenons les données qui nous sont fournies en suivant au mieux les principes de la chimie verte du document 2.

Prévention : produire moins de déchets :

Le procédé MGC rejette de la méthanamide et le procédé ACH 2,2 t d'hydrogénosulfate, tandis que le procédé isobutène ne rejette que de l'eau !

Economie d'atomes :

Le procédé MGC réalise une économie d'atome de 0,690, le procédé ACH de 0,465 et le procédé isobutène de 0,735.

Réduire l'utilisation ou la production de substances toxiques et dangereuses pour l'environnement :

Les procédés MGC et ACH utilisent du cyanure d'hydrogène qui est toxique. Le procédé isobutène n'utilise que du méthanol.

Le procédé ACH utilise également de l'acide sulfurique, qui est corrosif.

Minimiser les besoins énergétiques :

Le procédé MGC nécessite à certains moments une température avoisinant les 500°C.

Le procédé isobutène quant à lui nécessite des températures entre 280°C et 306°C.

Pour conclure, le procédé isobutène semble être celui à privilégier au regard de la chimie verte. C'est ce procédé qui en effet produit le moins de déchets (voire pas du tout !), qui réalise la plus grande économie d'atomes, et qui utilise des réactifs non toxiques. Il semblerait également que ses besoins énergétiques soient plus raisonnables.

EXERCICE III : COGÉNÉRATION EN EXPLOITATION AGRICOLE (5 points)

1. La méthanisation.

Le document 1 nous dit que le biogaz obtenu à l'issue de la méthanisation est composé à 60% de méthane CH₄ et à 40% de CO₂ et de H₂S.

Ainsi, pour 1 m³ de biogaz, on obtient environ 0,6 m³ de méthane et 0,4 m³ de CO₂ et de H₂S.

Le document 4 nous dit précisément que pour 1 m³ de biogaz, on obtient entre autre 0,6 m³ de méthane.

Les informations fournies entre le document 1 et le document 4 sont cohérentes.

2. La cogénération.

2.1. Le document 3 nous informe que la production annuelle d'énergie thermique par le cogénérateur est de 860 MWh et celle d'énergie électrique est de 830 MWh, ce qui donne un total de 1690 MWh.

Calculons maintenant l'ordre de grandeur du volume de biogaz correspondant.

Le rendement du cogénérateur est de 70% (document 3). Nous avons donc :

$$\eta = \frac{\text{Energie totale produite}}{\text{Energie issue de la combustion du biogaz}} = 0,70 = 70\%$$

Ainsi, on peut en déduire l'énergie issue de la combustion du biogaz :

$$E_{\text{biogaz}} = \frac{\text{Energie totale produite}}{0,70} = \frac{1690}{0,70} = 2414 \text{ MWh}$$

Puisque 1 m³ de méthane produit une énergie de 10 kWh, 0,6 m³ de méthane produit une énergie de 6 kWh.

1 m³ de biogaz produit donc 0,6 kWh. Pour une énergie E_{biogaz} valant 2414 MWh, on obtient le volume suivant :

$$V_{\text{biogaz}} = \frac{2414 \cdot 10^6}{0,6 \cdot 10^3} = 4,0 \cdot 10^5 \text{ m}^3$$

L'ordre de grandeur du volume donc de 10⁵ m³ de biogaz annuel.

2.2. Utilisons la formule de la variation d'énergie interne pour trouver le volume d'eau qui peut être chauffé :

$$\Delta U(kJ) = m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta T = \rho_{eau} \cdot V_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta T$$

D'où :

$$V_{eau} = \frac{\Delta U(kJ)}{\rho_{eau} \cdot c_{eau} \cdot \Delta T} = \frac{860 \cdot 10^3 \times 3600}{1000 \times 4,180 \times (70 - 10)} = 1,23 \cdot 10^4 \text{ m}^3$$

Remarque : Attention à utiliser les bonnes unités pour chaque variable !

Le document 3 indique que 200L d'eau chaude sont consommées par jour dans la salle de traite, ce qui correspond à une consommation annuelle de $200 \times 365 = 73\,000 \text{ L} = 73 \text{ m}^3$. Ce volume est bien inférieur à la valeur V_{eau} trouvé précédemment, donc l'eau chaude produite pourra être utilisée pour la consommation de plusieurs usagers.

2.3. L'énergie électrique est définie comme étant une puissance multipliée par un temps, et s'exprime donc en Wh.

Ayant la puissance électrique du cogénérateur $P = 104 \text{ kW}$, on peut calculer son énergie électrique annuelle associée :

$$E_{elec \text{ annuelle}} = P \times t = 104 \times 365 \times 24 = 9,11 \cdot 10^5 \text{ kWh} = 911 \text{ MWh}$$

Le document 3 indique que la production annuelle d'énergie électrique par le cogénérateur est de 830 MWh. Cette valeur théorique est inférieure à celle trouvée par le calcul.

3. L'intérêt environnemental d'un tel dispositif réside dans la réduction des déchets, car ce sont plus de 3200 tonnes/an de matière organique valorisée, ainsi que dans la contribution à la diminution de l'effet de serre, avec une économie en CO_2 de 420 tonnes/an.