

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

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2014

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement de Spécialité

Durée de l'épreuve : 3 heures 30 – Coefficient : 8

L'usage des calculatrices est autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

EXERCICE I - ONDES ET PARTICULES (6 points)

Partie A : Expérience des fentes d'Young

- 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.

- 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

- 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 !
- 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 :

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

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

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

La valeur de la longueur d'onde expérimentale est donc de $\lambda = (5 \pm 2) pm$ et celle théorique vaut $\lambda = (5.6 \pm 0.5) pm$, 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

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

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

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

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

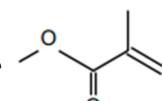
Le résultat est de l'ordre du picomètre, ce qui correspond bien avec nos résultats précédents.

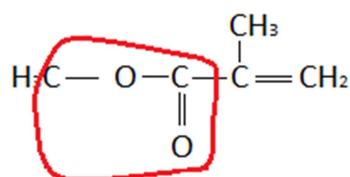
Remarque : L'allure de la figure du document 3 représentant la densité de probabilité de présence des électrons sur l'écran après passage par la fente est un sinus cardinal :

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

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.

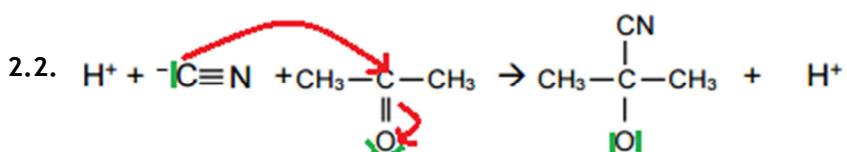
1.2. Cette molécule ne possède pas de carbone asymétrique (aucun de ses carbones n'est relié à trois groupes différents). Il n'y a pas non plus d'isomérie Z/E au niveau de la double liaison carbone-carbone : cette molécule ne possède donc pas de stéréoisomères.

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 NH₂ et O-CH₃ 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 H₂O a été éliminé lors de la réaction)



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

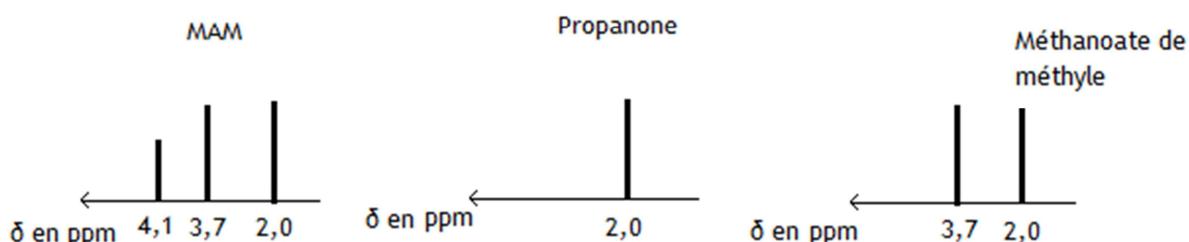
Le carbone de l'ion cyanure agit en tant que nucléophile : il va aller donner un électron au carbone lié à l'oxygène dans la molécule de propanone, qui est un site électrophile du fait justement de la présence de cet oxygène.

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 C=O_{cétone}.

Pour le méthanoate de méthyle, on observera un pic entre 1700 - 1740 cm⁻¹ dû à la présence du groupe C=O_{ester}, ainsi qu'un autre pic situé entre 1050 - 1450 cm⁻¹ dû à la présence du groupe C_{tet}=O. Le MAM possèdera les mêmes pics que le méthanoate de méthyle, avec un pic en plus situé entre 1625 - 1685 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 C_{tet}=O, ceux des groupes C=O_{cétone} et C=O_{ester} étant difficilement différenciables en pratique car très similaires.

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

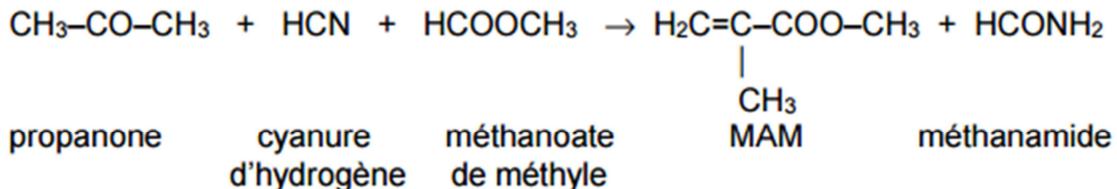


On remarque que les espèces sont également différenciables grâce aux spectres RMN.

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 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 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,

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

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

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

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

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 méthanimide 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 :

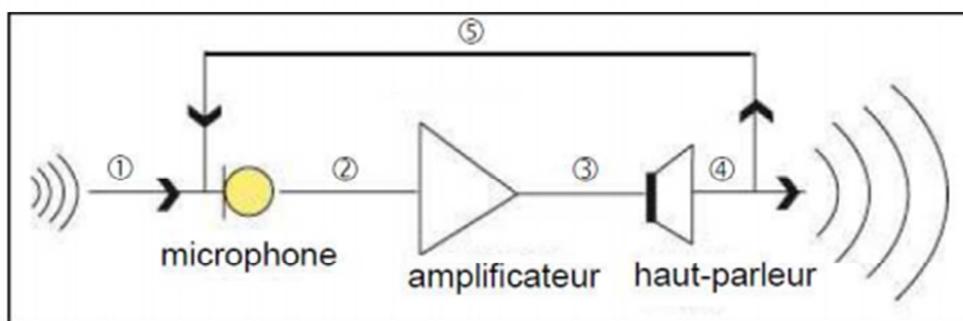
Le procédé MGC nécessite à certains moments une température avoisinant les 500°C.

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 : COMMENT ÉLIMINER L'EFFET LARSEN ? (5 points)

1. Document 1 : Effet Larsen



- 1- Onde sonore
- 2- Signal électrique
- 3- Signal électrique amplifié
- 4- Onde sonore
- 5- Onde sonore

2. Le document 2 nous donne l'expression du niveau d'intensité sonore L :

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ où } I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2} \quad \text{avec} \quad I = \frac{P}{4\pi d^2}$$

Ainsi, si la distance à une source sonore isotrope double, comme celle-ci est élevée au carré dans l'expression de I, l'intensité sera alors divisée par 4.

On aura donc à la distance d'=2d :

$$L' = 10 \log \left(\frac{I}{4I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) - 10 \log(4) = L - 10 \log(4) = L - 6 \text{ dB}$$

On remarque ainsi que le niveau d'intensité sonore décroît de 6 dB.

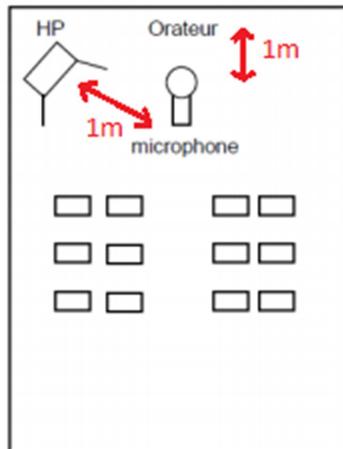
Si on se réfère au document 3, en prenant $d=10$ m par exemple, et donc $d'=20$ m, on lit $L=70$ dB et $L' = 64$ dB.

On a bien vérifié l'équation ci-dessus, à savoir $L' = L - 6$ dB

3. Pour répondre à la question, il est nécessaire de faire un point sur les données apportées grâce à la lecture de la question.

On apprend alors que :

- La salle fait $13\text{ m} \times 5\text{ m} \times 2,5\text{ m}$ et elle est disposée comme ceci :



- Puissance sonore de la voix de l'orateur $P= 12\text{ }\mu\text{W}$
- Niveau d'intensité sonore détecté par le sonomètre $L= 85\text{ dB}$

Avant de commencer, nous devons nous interroger sur le pourquoi de l'apparition d'un effet Larsen. Le document 1 va pouvoir répondre à cette interrogation : en effet, il y est indiqué que l'on « considère que l'effet Larsen apparaît dès que le niveau d'intensité sonore du son émis par le haut-parleur et capté par le microphone est supérieur à celui du son venant de la source sonore ».

Commençons donc par calculer le niveau d'intensité de la source sonore, puisque nous avons déjà celui détecté par le sonomètre :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{P}{4\pi d^2 I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{12 \cdot 10^{-6}}{4\pi \times 1^2 \times 1,0 \cdot 10^{-12}} \right) \cong 60\text{ dB}$$

A cette valeur on ajoute l'atténuation due à la position du haut-parleur par rapport au microphone, et qui vaut environ 5 dB, ce qui fait un total $L'=65$ dB.

Cette valeur est inférieure au niveau d'intensité sonore capté par le sonomètre : il y a donc bien un effet Larsen à cette distance.

Est-ce que l'éloignement du haut-parleur du microphone y changerait quelque chose ?

Pour cela, reportons-nous au tableau du document 3. Nous savons d'après les données que la pièce mesure 5m en largeur (on a tenu compte de la direction du haut-parleur par rapport au microphone, on raisonne donc ici sur la largeur). Or, à 1m du haut-parleur, le niveau d'intensité sonore vaut $L=85$ dB. Pour 2m, il vaut 79 dB, pour 5m, il vaut 71 dB, et pour 10m il vaut 65 dB ce qui reste supérieur (ou égale) à 65 dB. Il faudrait placer le haut-parleur à une distance comprise entre 15 et 20 m pour éviter l'effet Larsen.

Propositions de pistes pour limiter l'apparition de cet effet :

Piste 1 : Augmenter le niveau d'intensité sonore de la source et diminuer celui capté par le sonomètre, ce qui revient à ne pas régler l'amplificateur trop fort et faire en sorte que l'orateur parle plus fort.

Piste 2 : Modifier l'angle entre le haut-parleur et le microphone de façon à avoir la plus petite atténuation possible, c'est-à-dire en plaçant le haut-parleur dans l'alignement du microphone, derrière l'auditoire.